

**T.C.
ERCIYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİLİĞİ ANABİLİM DALI**

**BUZDA SOĞUKLUK DEPOLAMA SİSTEMLERİNDE
KULLANILAN BUZ KAPSÜLLERİNİN
ISIL GERİLME ANALİZLERİ**

**Hazırlayan
Ali GÜLTEKİN**

**Danışman
Dr. Öğr. Üyesi Orhan KEKLİKCİOĞLU
Doç. Dr. Doğan ERDEMİR**

Yüksek Lisans Tezi

**Ağustos 2023
KAYSERİ**

**T.C.
ERCIYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİLİĞİ ANABİLİM DALI**

**BUZDA SOĞUKLUK DEPOLAMA SİSTEMLERİNDE
KULLANILAN BUZ KAPSÜLLERİNİN
ISIL GERİLME ANALİZLERİ
(Yüksek Lisans Tezi)**

**Hazırlayan
Ali GÜLTEKİN**

**Danışman
Dr. Öğr. Üyesi Orhan KEKLİKCİOĞLU
Doç. Dr. Doğan ERDEMİR**

**Ağustos 2023
KAYSERİ**

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK

Bu çalışmadaki tüm bilgilerin, akademik ve etik kurallara uygun bir şekilde elde edildiğini beyan ederim. Aynı zamanda bu kural ve davranışların gerektirdiği gibi, bu çalışmanın özünde olmayan tüm materyal ve sonuçları tam olarak aktardığımı ve referans gösterdiğimi belirtirim.

Ali GÜLTEKİN

İmza

“Buzda Soğukluk Depolama Sistemlerinde Kullanılan Buz Kapsüllerinin Isıl Gerilme Analizleri” adlı Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi Lisansüstü Tez Önerisi ve Tez Yazma Yönergesi’ ne uygun olarak hazırlanmıştır.

Hazırlayan

Ali GÜLTEKİN

İmza

Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Orhan KEKLİKCİOĞLU

Makine Mühendisliği ABD Başkanı

Prof. Dr. Orhan AKANSU

İmza

N



TEŞEKKÜR

Lisansüstü eğitim sürecinde her zaman destek olan, bilgi ve tecrübelerini esirgemeyen değerli danışman hocalarım Doç. Dr. Doğan ERDEMİR'e ve Dr. Öğr. Üyesi Orhan KEKLİKÇİOĞLU'na teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca desteklerini, ilgi ve yardımlarını gördüğüm tüm bölüm hocalarıma ayrı ayrı teşekkür ederim.

Hayatım boyunca her zaman yanımda olan, benden her türlü maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen başta annem, babam ve kardeşim olmak üzere aileme saygı ve sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Ali GÜLTEKİN

Haziran 2023, KAYSERİ

BUZDA SOĞUKLUK DEPOLAMA SİSTEMLERİNDE KULLANILAN BUZ KAPSÜLLERİNİN ISIL GERİLME ANALİZLERİ

Ali GÜLTEKİN

Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
Yüksek Lisans Tezi, Ağustos 2023
Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Orhan KEKLİKCİOĞLU

ÖZET

Bu çalışma kapsamında; farklı kalınlıktaki ve tipteki buz kapsüllerinin sıcaklık değişimleri ile ortaya çıkan termal kuvvetler incelenmiş, uygun tip ve kalınlığı tespit edilmiştir. Bunun için 0.5mm, 1mm, 1.5mm, 2mm, 2.5mm, 3mm, 3.5mm, 4mm kalınlıklardaki 6 adet form şekli belirlenerek plastik malzemeden yapılmış olan kapsüller içlerinde buz olacak şekilde modellenerek incelenmiştir. Bu çalışma ile buz kapsüllerinin şekli ve kalınlığı belirlenerek termal gerilmeler sonucunda deforme olması önlemek için çalışmalar yapılmıştır ve farklı kalınlıktaki malzemelerden oluşan kapsüllerin sıcaklık değişimleri ile oluşabilecek termal kuvvetlere ışık tutmuştur. Buz kapsüllerinde Ansys Workbench'in "fluid/structuralinteraction" modülü ile HAD ve gerilme analizleri için -5°C'den 30°C'ye kadar sıcaklık artışı, hal değişimi sırasında sıcaklık dağılımları ve erime kesitleri ile oluşan gerilmeler, deformasyonların karşılaştırılması yapılmıştır. Çalışma sonucunda 2mm kalınlığındaki D kapsülü $3,8907 \cdot 10^{-5}(\text{m/m})$ elastik gerinim $3,2906 \cdot 10^{-4}\text{m}$ deformasyon ile 80gr ağırlığında, 2mm kalınlığındaki E kapsülü $2,1504 \cdot 10^{-5}(\text{m/m})$ elastik gerinim $7,4043 \cdot 10^{-3}\text{m}$ deformasyon ile 105,9gr ağırlığı ile ideal olarak kullanıma en uygun kapsüller olarak tespit edilmiştir. Sonrasında 0,5mm kalınlığındaki C kapsülü $5,9559 \cdot 10^{-11}(\text{m/m})$ elastik gerinim $2,6989 \cdot 10^{-3}\text{m}$ deformasyon ile 22gr ağırlığında E kapsülü $2,2006 \cdot 10^{-5}(\text{m/m})$ elastik gerinim $3,1058 \cdot 10^{-2}\text{m}$ deformasyon ile 25,7gr ağırlığında D kapsülü $3,4398 \cdot 10^{-5}(\text{m/m})$ elastik gerinim $5,3353 \cdot 10^{-2}\text{m}$ deformasyon ile 19,6gr ağırlığında sıralamayla en uygun kapsüller bu şekilde tespit edilmiştir. Kalınlık arttıkça mukavemet arttığı gözlemlenmiştir ama kullanılan malzeme miktarı artacağından dolayı maliyetin arttığı tespit edilmiştir. İdeal kapsüller belirlenirken sadece mukavemet değil aynı zamanda kütle ve buna bağlı olarak maliyetler de göz önünde bulundurulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Buz enerjisi, kapsül, ısı, gerilme, elastisite

THERMAL STRESS ANALYSIS OF ICE CAPSULES USED IN ICE COLD STORAGE SYSTEMS

Ali GÜLTEKİN

Erciyes University, Graduate School of Natural and Applied Sciences

Master Thesis, August 2023

Supervisor: Assist. Prof. Orhan KEKLİKÇİOĞLU

ABSTRACT

This scope of work; The thermal forces that occur with the temperature changes of the ice capsules of different thicknesses and types were examined, and the appropriate type and thickness were determined. For this, 6 form shapes of 0.5mm, 1mm, 1.5mm, 2mm, 2.5mm, 3mm, 3.5mm, 4mm thicknesses were determined and the capsules made of plastic material were modeled with ice inside and examined. With this study, the shape and thickness of the ice capsules were determined, and studies were carried out to prevent deformation as a result of thermal stresses and shed light on the thermal forces that may occur with temperature changes of capsules made of materials of different thickness. For CFD and stress analysis, temperature increase from -5°C to 30°C, temperature distributions during process change and stresses and deformations formed by melting cross sections were compared with Ansys Workbench's "fluid/structuralinteraction" module in ice capsules. As a result of the study, 2mm thick D capsule $3,8907.10^{-5}(\text{m/m})$ elastic strain $3,2906.10^{-4}\text{m}$ deformation, 80gr weight, 2mm thick E capsule $2,1504.10^{-5}(\text{m/m})$ elastic strain $7,4043.10^{-3}\text{m}$ deformation with its 105.9gr weight, it has been determined as the most suitable capsules for ideal use. Then, 0.5mm thick C capsule $5,9559.10^{-11}(\text{m/m})$ elastic strain $2,6989.10^{-3}\text{m}$ deformation and 22gr weight E capsule $2,2006.10^{-5}(\text{m/m})$ elastic strain $3,1058.10^{-2}\text{m}$ deformation 25gr D capsule weighing ,7gr with elastic strain of $3.4398.10^{-5}(\text{m/m})$ $5,3353.10^{-2}\text{m}$ deformation and 19.6gr weighting respectively, the most suitable capsules were determined in this way. It has been observed that the strength increases as the thickness increases, but it has been determined that the cost increases as the amount of material used will increase. While determining the ideal capsules, not only the strength but also the mass and, accordingly, the costs were taken into consideration.

Keywords: Iced capsule, thermal energy, stress.

İÇİNDEKİLER

BUZDA SOĞUKLUK DEPOLAMA SİSTEMLERİNDE KULLANILAN BUZ KAPSÜLLERİNİN ISIL GERİLME ANALİZLERİ

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK.....	ii
YÖNERGEYE UYGUNLUK.....	iii
KABUL VE ONAY	iv
TEŞEKKÜR	v
ÖZET.....	vi
ABSTRACT	vii
İÇİNDEKİLER	viii
KISALTMALAR	xi
TABLolar LİSTESİ.....	xii
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	xiii
GİRİŞ	1

1. BÖLÜM

LİTERATÜR ÇALIŞMASI

2. BÖLÜM

YÖNTEM VE MATERYAL

2.1. Matematiksel Metod.....	13
2.2. Had ve Isıl Gerilme Analizleri	16
2.3. Ansys Programının Kullanımı.....	18
2.3.1. Mesh Ayarlarının Yapılması.....	20
2.3.2. Fluent Analiz Ayarlarının Yapılması.....	21
2.3.3. Static Structural Analiz Ayarlarının Yapılması	31

3. BÖLÜM

ARAŞTIRMALAR

3.1. Had Analizi Sonuçları	35
3.1.1. A Kapsülü Erime Kesitleri ve Sıcaklık Dağılımı Analiz Karşılaştırmaları ...	35
3.1.2. B Kapsülü Erime Kesitleri ve Sıcaklık Dağılımı Analiz Karşılaştırmaları ...	38
3.1.3. C Kapsülü Erime Kesitleri ve Sıcaklık Dağılımı Analiz Karşılaştırmaları ...	41
3.1.4. D Kapsülü Erime Kesitleri ve Sıcaklık Dağılımı Analiz Karşılaştırmaları ...	44
3.1.5. E Kapsülü Erime Kesitleri ve Sıcaklık Dağılımı Analiz Karşılaştırmaları ...	46
3.1.6. F Kapsülü Erime Kesitleri ve Sıcaklık Dağılımı Analiz Karşılaştırmaları....	49
3.1.7. 0,5mm Kalınlığındaki Farklı Kapsüllerin Erime Kesitleri ve Sıcaklık Dağılımı Analiz Karşılaştırmaları	52
3.1.8. 1mm Kalınlığındaki Farklı Kapsüllerin Erime Kesitleri ve Sıcaklık Dağılımı Analiz Karşılaştırmaları	55
3.1.9. 1,5mm Kalınlığındaki Farklı Kapsüllerin Erime Kesitleri ve Sıcaklık Dağılımı Analiz Karşılaştırmaları	57
3.1.10. 2mm Kalınlığındaki Farklı Kapsüllerin Erime Kesitleri ve Sıcaklık Dağılımı Analiz Karşılaştırmaları	59
3.1.11. 2,5mm Kalınlığındaki Farklı Kapsüllerin Erime Kesitleri ve Sıcaklık Dağılımı Analiz Karşılaştırmaları.....	61
3.1.12. 3mm Kalınlığındaki Farklı Kapsüllerin Erime Kesitleri ve Sıcaklık Dağılımı Analiz Karşılaştırmaları	64
3.1.13. 3,5mm Kalınlığındaki Farklı Kapsüllerin Erime Kesitleri ve Sıcaklık Dağılımı Analiz Karşılaştırmaları.....	66
3.1.14. 4mm Kalınlığındaki Farklı Kapsüllerin Erime Kesitleri ve Sıcaklık Dağılımı Analiz Karşılaştırmaları	68
3.2. Gerilim ve Deformasyon Analizleri.....	70
3.2.1. A Kapsülü Gerilim ve Deformasyon Analiz Karşılaştırmaları.....	71
3.2.2. B Kapsülü Gerilim ve Deformasyon Analiz Karşılaştırmaları	75
3.2.3. C Kapsülü Gerilim ve Deformasyon Analiz Karşılaştırmaları	80
3.2.4. D Kapsülü Gerilim ve Deformasyon Analiz Karşılaştırmaları.....	84
3.2.5. E Kapsülü Gerilim ve Deformasyon Analiz Karşılaştırmaları	89

3.2.6. F Kapsülü Gerilim ve Deformasyon Analiz Karşılaştırmaları	94
3.2.7. 0,5mm Kapsüllerin Gerilim ve Deformasyon Analiz Karşılaştırmaları	98
3.2.8. 1mm Kapsüllerin Gerilim ve Deformasyon Analiz Karşılaştırmaları	102
3.2.9. 1,5 mm Kapsüllerin Gerilim ve Deformasyon Analiz Karşılaştırmaları	106
3.2.10. 2mm Kapsüllerin Gerilim ve Deformasyon Analiz Karşılaştırmaları	110
3.2.11. 2,5mm Kapsüllerin Gerilim ve Deformasyon Analiz Karşılaştırmaları	114
3.1.12. 3 mm Kapsüllerin Gerilim ve Deformasyon Analiz Karşılaştırmaları	118
3.1.13. 3,5 mm Kapsüllerin Gerilim ve Deformasyon Analiz Karşılaştırmaları ...	122
3.1.14. 4mm Kapsüllerin Gerilim ve Deformasyon Analiz Karşılaştırmaları	125

4. BÖLÜM

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

4.1. Had Sonuçları.....	130
4.1.1. Erime Kesiti Karşılaştırmaları	130
4.1.2. Sıcaklık Dağılımı Karşılaştırmaları	130
4.1.3. Gerilme ve Deformasyon Sonuçları	131
4.2. Maliyet Analizi	135
4.3. Öneriler	137

KAYNAKÇA	138
ÖZGEÇMİŞ.....	141

KISALTMALAR

BTED	: Buzda termal enerji depolama
DTK	: Diferansiyel tarama kalorimetresi
EEG	: Eşdeğer Elastik Gerinim
FDM	: Faz değişim malzemelerinin
FTIR	: Fourier transform infrared
GTEDS	: Gizli ısı termal enerji depolama sistemi
HAD	: Hesaplamalı akışkanlar dinamiği
ITS	: Isı transfer sıvısının
PBD	: Parçacık boyutu dağılımı
POM	: Polarize optik mikroskopi
SPK	: Soğutma performans katsayısı
TEDS	: Termal enerji depolama sistemi
TGA	: Termogravimetri analizi

TABLOLAR LİSTESİ

Tablo 21.	Buzun malzeme özellikleri	18
Tablo 2.2.	HDPE'nin malzeme özellikleri.....	18
Tablo 4.1.	Kapsüllerde meydana gelen erime derinliği	13030
Tablo 4.2.	Kapsüllerde meydana gelen sıcaklık dağılımı derinliği	13132
Tablo 4.3.	Kapsüllerde meydana gelen eşdeğer elastik gerinim.....	13233
Tablo 4.4.	Kapsüllerde meydana gelen deformasyon.....	13334
Tablo 4.5.	Aynı kalınlıktaki kapsüllerin eşdeğer elastik gerinim sıralaması.....	13435
Tablo 4.6.	Aynı kapsüllerin farklı kalınlıktaki eşdeğer elastik gerinim sıralaması 13435	
Tablo 4.7.	Aynı kalınlıktaki kapsüllerin deformasyon sıralaması	13536
Tablo 4.8.	Aynı kapsüllerin farklı kalınlıktaki eşdeğer elastik gerinim sıralaması 13435	
Tablo 4.9.	Kapsüllerin cidar ağırlıkları.....	13537
Tablo 4.10.	Kapsüllerin 1 milyon adedinin ham madde fiyat listesi	13437

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1.	Örnekleme olarak kullanılan test ortamı [22].....	13
Şekil 2.2.	Dairesel plaka [21]	14
Şekil 2.2.	Dairesel plakada sıcaklık dağılımı ve dairesele plakada gerilim dağılımı ($r_0/r_i=3$) [21].....	15
Şekil 2.3.	İncelen buz kapsüllerinin tasarımları [2].....	17
Şekil 2.4.	Workbench araç çubukları FSI:Fluid Flow(FLUENT) uygulaması.....	19
Şekil 2.5.	Workbench proje şeması alanı çalışma şablonu.....	19
Şekil 2.5.	Analiz parçasını programa aktarma.....	20
Şekil 2.6.	Mesh Ayarları.....	21
Şekil 2.7.	Meshlenmiş Buz Küresi Örneği	21
Şekil 2.7.	Setup Ayarları.....	22
Şekil 2.9.	Models Ayarları.....	23
Şekil 2.10.	Materials Ayarları.....	24
Şekil 2.11.	HDPE'nin Malzeme Özellikleri	24
Şekil 2.12.	Buzun Malzeme Özellikleri.....	25
Şekil 2.13.	Cell Zone Conditions Ayarları	25
Şekil 2.14.	Buzun Malzeme Ataması	26
Şekil 2.15.	Boundry Conditions Ayarları	26
Şekil 2.16.	Buzun sıcaklık değeri -5°C girilmiştir.....	27
Şekil 2.17.	Kabuğun sıcaklık değeri -5°C girilmiştir	27
Şekil 2.18.	Methods Ayarları.....	28
Şekil 2.19.	Initialization Ayarları	28
Şekil 2.20.	Run Calculation Ayarları.....	29
Şekil 2.21.	Şemada Results seçilmiştir	29
Şekil 2.22.	XY düzlemi yüzey seçilmiştir.	30
Şekil 2.23.	XY düzlemi yüzey seçilerek Liquid Fraction ile erime kesiti sonucu alınmıştır.....	30
Şekil 2.24.	XY düzlemi yüzey seçilerek Temperature ile sıcaklık sonucu alınmıştır.	31
Şekil 2.25.	HDPE malzemesinin Static Stucrural analizi için kullanılan malzeme özellikleri.....	32

Şekil 2.26.	Buz malzemesinin Static Stucrural analizi için kullanılan malzeme özellikleri.....	32
Şekil 2.27.	Buz kapsülünün Static Stucrural analizi için mesh ayarları	33
Şekil 2.28.	Buz kapsülünün sabitleme ayarları.....	33
Şekil 2.29.	Buz kapsülünün Fluent analizinden alınan veriler	33
Şekil 2.30.	Solution ayarları	34
Şekil 2.31.	Deformasyon analizi.....	34
Şekil 2.32.	Gerilim analizi	34
Şekil 3.1.	A Kapsüllerinin farklı kalınlıklardaki erime kesiti karşılaştırması	36
Şekil 3.2.	A Kapsüllerinin farklı kalınlıklardaki sıcaklık dağılımı karşılaştırması ..	37
Şekil 3.3.	B Kapsüllerinin farklı kalınlıklardaki erime kesiti karşılaştırması.....	39
Şekil 3.4.	B Kapsüllerinin farklı kalınlıklardaki sıcaklık dağılımı karşılaştırması..	40
Şekil 3.5.	C Kapsüllerinin farklı kalınlıklardaki erime kesiti karşılaştırması.....	42
Şekil 3.6.	C Kapsüllerinin farklı kalınlıklardaki sıcaklık dağılımı karşılaştırması..	43
Şekil 3.7.	D Kapsüllerinin farklı kalınlıklardaki erime kesiti karşılaştırması	45
Şekil 3.8.	D Kapsüllerinin farklı kalınlıklardaki sıcaklık dağılımı karşılaştırması ..	46
Şekil 3.9.	E Kapsüllerinin farklı kalınlıklardaki erime kesiti karşılaştırması.....	47
Şekil 3.10.	E Kapsüllerinin farklı kalınlıklardaki sıcaklık dağılımı karşılaştırması..	49
Şekil 3.11.	F Kapsüllerinin farklı kalınlıklardaki erime kesiti karşılaştırması	50
Şekil 3.12.	F Kapsüllerinin farklı kalınlıklardaki sıcaklık dağılımı karşılaştırması ..	52
Şekil 3.13.	0,5mm kapsüllerinin farklı kalınlıklardaki erime kesiti karşılaştırması..	53
Şekil 3.14.	0,5mm kapsüllerinin farklı kalınlıklardaki sıcaklık dağılımı karşılaştırması	54
Şekil 3.15.	1mm kapsüllerinin farklı kalınlıklardaki erime kesiti karşılaştırması	55
Şekil 3.16.	1mm kapsüllerinin farklı kalınlıklardaki sıcaklık dağılımı karşılaştırması ..	56
Şekil 3.17.	1,5mm kapsüllerinin farklı kalınlıklardaki erime kesiti karşılaştırması ..	58
Şekil 3.18.	1,5mm kapsüllerinin farklı kalınlıklardaki sıcaklık dağılımı karşılaştırması	59
Şekil 3.19.	2mm kapsüllerinin farklı kalınlıklardaki erime kesiti karşılaştırması	60
Şekil 3.20.	2mm kapsüllerinin farklı kalınlıklardaki sıcaklık dağılımı karşılaştırması ..	61
Şekil 3.21.	2,5mm kapsüllerinin farklı kalınlıklardaki erime kesiti karşılaştırması ..	62

Şekil 3.22.	2,5mm kapsüllerinin farklı kalınlıklardaki sıcaklık dağılımı karşılaştırması	63
Şekil 3.23.	3mm kapsüllerinin farklı kalınlıklardaki erime kesiti karşılaştırması	64
Şekil 3.24.	3mm kapsüllerinin farklı kalınlıklardaki sıcaklık dağılımı karşılaştırması .	65
Şekil 3.25.	3,5mm kapsüllerinin farklı kalınlıklardaki erime kesiti karşılaştırması ..	67
Şekil 3.26.	3,6mm kapsüllerinin farklı kalınlıklardaki sıcaklık dağılımı karşılaştırması	67
Şekil 3.27.	4mm kapsüllerinin farklı kalınlıklardaki erime kesiti karşılaştırması	69
Şekil 3.28.	3,6mm kapsüllerinin farklı kalınlıklardaki sıcaklık dağılımı karşılaştırması	70
Şekil 3.29.	A kapsülünün eşdeğer elastik gerinim kabuk olarak karşılaştırılması	71
Şekil 3.30.	A kapsülünün eşdeğer elastik gerinim kesit olarak karşılaştırılması.....	72
Şekil 3.31.	A kapsülünün eşdeğer elastik gerinim bütünsel olarak karşılaştırılması.	73
Şekil 3.32.	A kapsülünün deformasyon kabuk olarak karşılaştırılması.....	74
Şekil 3.33.	A kapsülünün deformasyon kesit olarak karşılaştırılması.....	74
Şekil 3.34.	A kapsülünün deformasyon bütünsel olarak karşılaştırılması.....	75
Şekil 3.35.	B kapsülünün eşdeğer elastik gerinim kabuk olarak karşılaştırılması.....	76
Şekil 3.36.	B kapsülünün eşdeğer elastik gerinim kesit olarak karşılaştırılması.....	77
Şekil 3.37.	B kapsülünün eşdeğer elastik gerinim bütünsel olarak karşılaştırılması.	77
Şekil 3.38.	B kapsülünün deformasyon kabuk olarak karşılaştırılması.....	78
Şekil 3.39.	B kapsülünün deformasyon kesit olarak karşılaştırılması.....	79
Şekil 3.40.	B kapsülünün deformasyon bütünsel olarak karşılaştırılması	80
Şekil 3.41.	C kapsülünün eşdeğer elastik gerinim kabuk olarak karşılaştırılması.....	81
Şekil 3.42.	C kapsülünün eşdeğer elastik gerinim kesit olarak karşılaştırılması.....	81
Şekil 3.43.	C kapsülünün eşdeğer elastik gerinim bütünsel olarak karşılaştırılması.	82
Şekil 3.44.	C kapsülünün deformasyon kabuk olarak karşılaştırılması.....	83
Şekil 3.45.	C kapsülünün deformasyon kesit olarak karşılaştırılması	83
Şekil 3.46.	C kapsülünün deformasyon bütünsel olarak karşılaştırılması	84
Şekil 3.47.	D kapsülünün eşdeğer elastik gerinim kabuk olarak karşılaştırılması	85
Şekil 3.48.	D kapsülünün eşdeğer elastik gerinim kesit olarak karşılaştırılması.....	86
Şekil 3.49.	D kapsülünün eşdeğer elastik gerinim bütünsel olarak karşılaştırılması.	87
Şekil 3.50.	D kapsülünün deformasyon kabuk olarak karşılaştırılması.....	87
Şekil 3.51.	D kapsülünün deformasyon kesit olarak karşılaştırılması.....	88

Şekil 3.52.	D kapsülünün deformasyon bütünsel olarak karşılaştırılması.....	89
Şekil 3.53.	E kapsülünün eşdeğer elastik gerinim kabuk olarak karşılaştırılması.....	90
Şekil 3.54.	E kapsülünün eşdeğer elastik gerinim kesit olarak karşılaştırılması	91
Şekil 3.55.	E kapsülünün eşdeğer elastik gerinim bütünsel olarak karşılaştırılması .	91
Şekil 3.56.	E kapsülünün deformasyon kabuk olarak karşılaştırılması	92
Şekil 3.57.	E kapsülünün deformasyon kesit olarak karşılaştırılması	93
Şekil 3.58.	E kapsülünün deformasyon bütünsel olarak karşılaştırılması	94
Şekil 3.59.	F kapsülünün eşdeğer elastik gerinim kabuk olarak karşılaştırılması	94
Şekil 3.60.	F kapsülünün eşdeğer elastik gerinim kesit olarak karşılaştırılması	95
Şekil 3.61.	F kapsülünün eşdeğer elastik gerinim bütünsel olarak karşılaştırılması .	96
Şekil 3.62.	F kapsülünün deformasyon kabuk olarak karşılaştırılması	97
Şekil 3.63.	F kapsülünün deformasyon kesit olarak karşılaştırılması	97
Şekil 3.64.	F kapsülünün deformasyon bütünsel olarak karşılaştırılması	98
Şekil 3.65.	0,5mm kapsülün eşdeğer elastik gerinim kabuk olarak karşılaştırılması	99
Şekil 3.66.	0,5mm kapsülün eşdeğer elastik gerinim kesit olarak karşılaştırılması	100
Şekil 3.67.	0,5mm kapsülün eşdeğer elastik gerinim bütünsel olarak karşılaştırılması	100
Şekil 3.68.	0,5mm kapsülün deformasyon kabuk olarak karşılaştırılması	101
Şekil 3.69.	0,5mm kapsülün deformasyon kesit olarak karşılaştırılması	101
Şekil 3.70.	0,5mm kapsülün deformasyon bütünsel olarak karşılaştırılması	102
Şekil 3.71.	1mm kapsülün eşdeğer elastik gerinim kabuk olarak karşılaştırılması .	103
Şekil 3.72.	1mm kapsülün eşdeğer elastik gerinim kesit olarak karşılaştırılması ...	103
Şekil 3.73.	1mm kapsülün eşdeğer elastik gerinim kesit olarak karşılaştırılması ...	104
Şekil 3.74.	1mm kapsülün deformasyon kabuk olarak karşılaştırılması	105
Şekil 3.75.	1mm kapsülün deformasyon kesit olarak karşılaştırılması	105
Şekil 3.76.	1mm kapsülün deformasyon bütünsel olarak karşılaştırılması	106
Şekil 3.77.	1,5mm kapsülün eşdeğer elastik gerinim kabuk olarak karşılaştırılması	107
Şekil 3.78.	1,5mm kapsülün eşdeğer elastik gerinim kesit olarak karşılaştırılması	107
Şekil 3.79.	1,5mm kapsülün eşdeğer elastik gerinim bütünsel olarak karşılaştırılması	108
Şekil 3.80.	1,5mm kapsülün deformasyon kabuk olarak karşılaştırılması	109
Şekil 3.81.	1,5mm kapsülün deformasyon kesit olarak karşılaştırılması	109

Şekil 3.82.	1,5mm kapsülün deformasyon bütünsel olarak karşılaştırılması	110
Şekil 3.83.	2mm kapsülün eşdeğer elastik gerinim kabuk olarak karşılaştırılması .	110
Şekil 3.84.	2mm kapsülün eşdeğer elastik gerinim kesit olarak karşılaştırılması ...	111
Şekil 3.85.	2mm kapsülün eşdeğer elastik gerinim bütünsel olarak karşılaştırılması	112
Şekil 3.86.	2mm kapsülün deformasyon kabuk olarak karşılaştırılması	112
Şekil 3.87.	2mm kapsülün deformasyon kesit olarak karşılaştırılması	113
Şekil 3.88.	2mm kapsülün deformasyon bütünsel olarak karşılaştırılması	113
Şekil 3.89.	2,5mm kapsülün eşdeğer elastik gerinim kabuk olarak karşılaştırılması	114
Şekil 3.90.	2,5mm kapsülün eşdeğer elastik gerinim kesit olarak karşılaştırılması	115
Şekil 3.91.	2,5mm kapsülün eşdeğer elastik gerinim bütünsel olarak karşılaştırılması	115
Şekil 3.92.	2,5mm kapsülün deformasyon kabuk olarak karşılaştırılması	116
Şekil 3.93.	2,5mm kapsülün deformasyon kesit olarak karşılaştırılması	117
Şekil 3.94.	2,5mm kapsülün deformasyon kesit olarak karşılaştırılması	117
Şekil 3.95.	3mm kapsülün eşdeğer elastik gerinim kabuk olarak karşılaştırılması .	119
Şekil 3.96.	3mm kapsülün eşdeğer elastik gerinim kabuk olarak karşılaştırılması .	119
Şekil 3.97.	3mm kapsülün eşdeğer elastik gerinim kabuk olarak karşılaştırılması .	120
Şekil 3.98.	3mm kapsülün deformasyon kabuk olarak karşılaştırılması	120
Şekil 3.99.	3mm kapsülün deformasyon kesit olarak karşılaştırılması	121
Şekil 3.100.	3mm kapsülün deformasyon bütünsel olarak karşılaştırılması	121
Şekil 3.101.	3,5mm kapsülün eşdeğer elastik gerinim kabuk olarak karşılaştırılması	122
Şekil 3.102.	3,5mm kapsülün eşdeğer elastik gerinim kesit olarak karşılaştırılması	123
Şekil 3.103.	3,5mm kapsülün eşdeğer elastik gerinim kesit olarak karşılaştırılması	123
Şekil 3.104.	3mm kapsülün deformasyon kabuk olarak karşılaştırılması	124
Şekil 3.105.	3mm kapsülün deformasyon kesit olarak karşılaştırılması	125
Şekil 3.106.	3mm kapsülün deformasyon bütünsel olarak karşılaştırılması	125
Şekil 3.107.	4mm kapsülün eşdeğer elastik gerinim kabuk olarak karşılaştırılması .	126
Şekil 3.108.	4mm kapsülün eşdeğer elastik gerinim kesit olarak karşılaştırılması ...	127
Şekil 3.109.	4mm kapsülün eşdeğer elastik gerinim bütünsel olarak karşılaştırılması	127
Şekil 3.110.	3mm kapsülün deformasyon kabuk olarak karşılaştırılması	128

Şekil 3.111.	3mm kapsülün deformasyon kesit olarak karşılaştırılması	128
Şekil 3.112.	3mm kapsülün deformasyon kesit olarak karşılaştırılması	129



GİRİŞ

Soğuk hava depolarının artan önemi, yaz sıcaklıklarında artan klima kullanımı gibi sebeplerden ötürü soğutmaya dayalı ihtiyaca bağlı olarak bu alanda kullanılan enerjinin verimliliği de önem kazanmaktadır. Bu verimliliği artırma çalışmaları ülkemizde de uygulanmaya başlanmıştır. Bu kapsamda yapılan çalışmalarda buzda enerji depolayarak gün içerisinde kullanıma göre daha efektif olarak ayarlayarak enerjinin kullanımının zirve yaptığı zamanı ayarlamak ve bunu değiştirmek mümkün olmaktadır. Bu sistemler buzda soğukluk depolama ya da buzda enerji depolama sistemleri olarak adlandırılmaktadır.

Suyun hem özgül ağırlığının hem de buzun gizli ısısının yüksek olması nedeni ile soğutma yükünün buzda depolanması, enerji depolama sistemleri arasında emniyetli, bakımı ve işletimi kolay, ucuz bir sistem olarak ön plana çıkmaktadır. Rüzgâr enerji santrallerinin sayısının sürekli olarak artmasından ve bu tesislerin gece pik dışı üretime olan katkısı şebeke yüklerini kaydırmayı cazip hale getirmiştir. Buzda soğukluk depolama sistemlerinin pik dışı elektriği kullanmaya teşvik ettiğinden önemli bir araç olarak yaygın bir şekilde kullanılmaktadır.

Buzda soğukluk depolama (BSD) sisteminin gerekçesi ve amacı bu şekilde özetlenebilse de buzda enerji depolanması başlı başına özel bir teknoloji ve tasarım becerisi gerektirmektedir [1]. Soğuk termal enerji depolama, gündüz saatlerinde yoğunluğa göre ve gece saatleri daha az yoğun olduğu için enerjiyi daha iyi verimli zamana göre yayılabilecek şekilde kullanımının uygulamaları yapılmaya başladı. "Soğuk termal enerji" bir çelişki gibi görünse de "termal enerji depolama" terimi hem ısıtma hem de soğutma enerjisinin depolanmasını tanımlamak için yaygın olarak kullanılmaktadır. Soğuk termal enerji depolama genellikle daha sonra kullanmak üzere bir depolama ortamına ısı ekleyerek daha ucuz ve yoğun olmayan güç kullanımına olanak tanır. Buna karşılık, soğuk termal enerji depolama, buz, soğutulmuş su veya "faz değiştirme malzemeleri" gibi bir depolama ortamından ısı çekerek soğutma kapasitesi sağlamak için yoğun olmayan güç kullanır. Tipik olarak, bir soğuk depolama sistemi, bir soğuk

malzeme rezervuarı oluşturmak için geceleri soğutma ekipmanı kullanır. Gün boyunca, soğutma kapasitesi sağlamak için bu rezervuardan yararlanılır. Soğuk termal enerji depolama sistemi kullanmanın birçok avantajı vardır. Daha düşük gece sıcaklıkları, soğutma ekipmanının gün içinde olduğundan daha verimli çalışmasını sağlayarak enerji tüketimini azaltır. Daha az soğutucu kapasitesi gerekir, bu da daha düşük sermaye ekipmanı maliyetleri anlamına gelir ve yoğun saatlerde kullanılmak üzere enerjiyi depolamak için yoğun olmayan elektriğin kullanılmasıyla, enerji tüketiminin gündüz zirveleri azaltılır ve bu da pahalı yeni enerji santralleri kurma ihtiyacını ortadan kaldırır [2].

Bu tez çalışmasının konusu; buz kapsüllerinin bilgisayar destekli programlar ile analizini yapmak ve termal gerilmelerin bölgelerini tespit etmektir. Su diğer maddelerin aksine $+4^{\circ}\text{C}$ minimum hacme sahip olduğu için bu değerin altına düşerken de bu değerden yukarı çıkarken de hacmi artan maddedir. Bu sebeple donarken bulunduğu kabın cidarlarına basınç yapar ve bu şekilde kuvvet uygular.

Buzda soğukluk depolama sistemi; artan enerji maliyetleri, artan gaz emisyonlarını azaltmak için ve enerji verimliliği için yaygınlaşması elzemdir. Bu sebeple devlet teşvikleri desteklenerek BSD sistemleri yaygınlaştırılmalıdır.

1-) Termal gerilmeler malzemelere etkiyerek bunlara zarar verebilir. Bu tip olumsuz sonuçlara maruz kalmamak için tasarım yaparken bu gerilmeleri de göz önünde bulundurmak gerekir. Bu kapsamda hem ısıl açıdan hem de yapısal açıdan optimum buz kapsülü tasarımı araştırılmıştır.

2-) Yüksek yoğunluklu polietilen malzemeyle kaplı buz kapsülleri farklı ısıl genişleme katsayılarına sahip olduğu için sıcaklık değişiminde iki malzemenin temas ettiği yüzeylerde gerilmelere ve deformasyona neden olur. Bu sebeple farklı şekil ve kalınlıklarda; gerilme ve deformasyon durumlarını incelemek, en uygun şekil ve kalınlıkları tespit etme amacıyla bu çalışma yapılmıştır.

3-) Sistemin performansı ve maliyeti açısından en önemli elemanı olan buz kapsülleri için hem ısıl performans hem de maliyet açısından özgün ve yenilikçi bir tasarım gerçekleştirilmiştir. Buz kapsüllerinde yırtılmalardan meydana gelecek performans düşüşü ve ekipmanların zarar görmesinin engellenmesi hedeflenmiştir.

1. BÖLÜM

LİTERATÜR ÇALIŞMASI

Bu bölümde buzda soğukluk depolama ile ilgili geçmişte yapılan çalışmalar incelenmiştir. Buzun termal iletkenlik katsayısının belirlenmesinden, buzda enerji depolamaya; enerji harcamasından, farklı çaplarda yapılan buz kapsülü çalışmaları incelenerek aynı tekrara düşülmemesi ve yeni yapılacak çalışmalara da katkı vermesi hedeflenmiştir.

Sturm ve ekibi ısıtılmış iğne probu ile 89 noktada ölçüm yaparak karın termal iletkenliğini (ks) tespit etmiştir. Ortalama değerler kar için 0.078 W/mK ile 0.290 W/mK arasında değişiyordu. ks, denklemlerde artan yoğunluk ile arttığı tespit edilmiştir. Ancak karın metamorfik durumundan dolayı güvenilir olduğu tahmin edilebilmiştir. Karın ortalama hacim değerleri için kar stratigrafisi değerleri kullanılarak ölçülen ks değeri 0.14 W/mK olarak tespit edilmiştir. Buna karşılık sıcaklık değişiminde buz hacminin artması sırasında ks değeri 0.33 W/mK olarak tespit edilmiştir. İkinci tespit edilen değer ortalama çakıl taşı büyüklüğünde olan ısı akışını içeren iki ve üç boyutlu kar ve buzda yapılan ölçümden dolayı uyumsuzluk göstermiştir. Sonlu elemanlar modeli, karmaşık geometriye sahip kar yüzeyinde daha fazla ısı kaybı yaşandığını göstermiştir. Uyumsuzluğu tam olarak açıklamada yetersiz kalsa da "sıcak noktalar" görünür iletkenliği 1,4 kat artırmıştır. Doğal veya zorlanmış ısı taşınımı gibi ısı iletimi olmayan ortamda kar örtüsünde ortaya çıkacağı tahmin edilmiştir. Kar örtüsü içindeki kar ve buz şekil yapısı ısı iletimi olmayan sürece bağla olarak etkisi ise belirsizliğini korumaktadır [3].

İki boyutlu ayrı fazlar formülü ile aynı şekil ve boyutlara sahip küre şeklindeki parafin mumunu kapsüllenmiş silindirik dolgulu yataklı bir termal enerji depolama sisteminin geçici tepkisinin sayısal analizini geliştirmek için kullanılmıştır.

Akışkan enerjisi denklemi, sonlu elemanlar yaklaşımı ile alternatif yönlü örtük sistem methodologyyla çözüldü. Bu analiz, çeşitli Prandtl sayılarına sahip sıvılar için geçerlidir. Hem şarj etme hem de geri kazanım modları için ve geniş bir Reynolds sayısı aralığı için uygulanabilir.

Hem sıvı hem de FDM sıcaklığının ölçümleri, farklı eksenel ve radyal konumlarda ve farklı çalışma parametrelerinde gerçekleştirildi. Sıcaklık dağılımının deneysel ölçümleri, geniş bir Reynolds sayısı aralığındaki sayısal sonuçlarla olumlu şekilde karşılaştırılmıştır [4].

Hommou ve ekibi, güneş ve elektrik enerjisinden gelen ısıнын aynı anda depolanmasını yönetmek için hibrit bir termal enerji depolama sistemi (TEDS) önermiştir. Güneş enerjisi güneşli günlerde depolanır ve daha sonra bulutlu günlerde veya geceleri kullanılır ve güç taleplerini esnek hale getirmek için elektrik enerjisi yoğun olmayan dönemlerde depolanır ve daha sonra yoğun dönemlerde kullanılır. TEDS'in ısı transfer modeli, kesin çözümler ve deneysel verilerle geliştirilmiş ve doğrulanmıştır. Daha sonra, çeşitli depolama malzemelerin ve çalışma koşullarının TEDS'in termal davranışı üzerindeki etkisini incelemek için simülasyonlar yapılmıştır. Sonuçlar, TEDS 0.15'ten oluştuğunda, alanı ısıtmak için elektrik tüketiminin en aza indirildiğini göstermiştir. 0.065 m çapında küresel kapsüllerden oluşan 1 m kalınlığında duvar, n-oktadekan ile doldurulur. Böyle bir sistemle, ocak ayı boyunca elektrik enerjisi tüketimi %30 kadar azaltmak mümkün olabileceği tahmin edilmiştir [5].

Regin ve ekibi, dolgulu yataklı gizli ısı termal enerji depolama sisteminin davranışını analiz etmiştir. Dolgulu yatak, güneş enerjili su ısıtma sistemi ile kullanılabilen FDM olarak parafin mumu ile doldurulmuş küresel kapsüllerden oluşturulmuştur. Bu çalışmada geliştirilen model, kapsüllerin içindeki FDM'nin faz değişim olaylarının entalpi yöntemi kullanılarak analiz edilmesi dışında Schumann'ın denklerine benzer temel denklemleri kullanılmıştır. Denklemler sayısal olarak çözülmüş ve elde edilen sonuçlar hem şarj hem de deşarj proseslerinin ısıl performans analizi için kullanılmıştır. Giriş ısı transfer akışkan sıcaklığı (Stefan sayısı), kütle debisi ve faz değişim sıcaklık aralığının çeşitli yarıçaplardaki kapsüllerin termal performansına etkileri incelenmiştir. Sonuçlar, sistemin performansının uygun bir şekilde modellenmesi için FDM'nin faz değişim sıcaklık aralığının doğru bir şekilde bilinmesi ve dikkate alınması gerektiğini göstermiştir [6].

Soderlunda ve ekibi buz devi gezegen olan Uranüs ve Neptün, Güneş Sistemimizdeki diğer gezegenlerden farklı olarak manyetik alanlara, atmosferik sirkülasyon modellerine ve termal emisyonlara sahip olduğunu ileri sürmüştür. Ancak, kendi içinde tutarlı hiçbir dinamik model bu gözlemlerin tümünü yeniden ortaya koyamamıştır. Dinamoların ve yüzey rüzgarlarının dinamik olarak birleştiğini varsaymışlardır ve özelliklerinin gezegen ölçeğindeki su katmanlarında uyarılabilen üç boyutlu türbülansın bir sonucu olduğunu iddia etmişlerdir. Burada, Uranüs ve Neptün'ün olası iç yapılarının aralığıyla tutarlı kalın ve ince küresel kabuk geometrilerine sahip dinamo modelleri üzerinde çalışmışlardır. Konveksiyon tarzı, küçük ölçekli ve düzensiz türbülans elde etmek için önceden seçilmiştir.

Buz devi gözlemleriyle uyumlu olarak, her iki simülasyon da,

- (i) Dalgalanan dinamo eylemiyle çok kutuplu manyetik alanlar üretmiştir,
- (ii) Açısal momentum karışımı yoluyla ekvator da retrograd akışlı bölgesel jetler üretmiştir,
- (iii) Esas olarak Hadley benzeri dolaşım hücreleri tarafından indüklenen ekvatorial yükselmeler nedeniyle iç ısı akışlarında yerel ekvator tepe noktalarını tahmin edilmiştir.

Bu nedenle, üç boyutlu konvektif türbülansın buz devlerinin birinci dereceden jeofizik gözlemlerini açıklayabileceğini iddia etmişlerdir [7].

Reddy ve ekibi evsel ve endüstriyel uygulamalarda gün boyu düzenli olmaması ve aralıklı doğası sebebiyle güneş enerjisi kullanımı etkin bir şekilde kullanımı zor olduğunu ortaya koymuştur. Hem hassas hem de gizli ısı kullanan termal enerji depolama (BTED) sistemi, bir birim hacimde büyük ısı depolama kapasitesi, şarj ve deşarj işlemleri sırasında izotermal davranışı gibi birçok avantaja sahiptir. Bu avantajlardan dolayı, son yıllarda FDM tabanlı BTED sisteminin hem şarj hem de deşarj işlemlerinde ısı transfer sıvısı ve faz değişim malzemesi FDM arasındaki düşük ısı transferi oranları gibi sorunların üstesinden gelmek için birçok araştırma çalışması devam etmiştir. Bu deneysel çalışma, değişen bir ısı kaynağı ile entegre edilmiş hassas ve gizli BTED ısı sisteminin sonuçlarını sunmuştur. BTED sisteminde farklı faz değişim malzemeleri (parafin ve stearik asit) için

ITS akış hızlarını değiştirerek ve çeşitli boyutlarda küresel kapsüller (68, 58 ve 38 mm çapında) için araştırmalar yapılmıştır. Deneyler hem şarj hem de deşarj işlemlerinde gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar, 38 mm çapında küresel kapsülün diğer boyutlardaki küresel kapsüllere kıyasla daha iyi performans gösterdiğini göstermiştir [8].

Bellan ekibi, aralıklı enerji tedarik problemlerinden kaçınmak için, termal enerji depolama sistemi konsantre güneş enerjisi santrallerinde önemli bir rol oynadığını tespit eden araştırma yapmıştır. Bu nedenle, son birkaç on yılda termal enerji depolama sistemlerinin iyileştirilmesine önemli bir vurgu yapılmıştır. Bu çalışmada, küresel kapsüllerle paketlenmiş yüksek sıcaklıkta gizli termal enerji depolama sisteminin dinamik termal performansı deneysel ve sayısal olarak analiz edilmiştir. Küresel kapsüller sodyum nitrat ile kapsüllenmiştir ve hava ısı transferi için olarak kullanılmıştır. İki boyutlu sürekli katı faz ve etkin performansla paketlenmiş yatak modelleri, deneysel sonuçlarla karşılaştırılarak geliştirilmiş ve doğrulanmıştır. Bu modeller kullanılarak, kapsüller ile ısı transfer sıvısı arasındaki ısı transferinin ayrıntılı özellikleri analiz edilmiştir. Kütle akış hızı, Stefan sayısı, kalınlık ve kabuğun termal iletkenliğinin etkisini incelemek için parametrik analizler yapılmıştır. Sonuçlar, Stefan sayısının hissedilebilir ısı nedeniyle toplam ısı depolama kapasitesi üzerinde önemli bir rol oynadığını ve kapsülün kabuk özelliklerinin sistemin termal performansını önemli ölçüde etkilediğini göstermektedir. Kabuğun ısı iletkenliği yüksek olduğunda kabuk kalınlığının etkisi azalır, kabuğun ısı iletkenliği düşük olduğunda kabuk kalınlığının etkisi artar [9].

Erek ve ekibi, şarj ve deşarj işlemleri sırasında, kapsüllenmiş buz termal enerji depolama (BTED) sisteminin ısı transfer davranışı, aşağı akış durumunda değişir ve ısı transfer sıvısının (ITS) sıcaklığı ve özellikle ısı transfer katsayısı her kapsül etrafında önemli ölçüde değiştiğinden bu dikkate alınması gereken çalışma yapmıştır. Burada öncelikle farklı kapsül çapları, kapsüllenmemiş buz BTED sistemi ısı transferi davranışını incelemek için kontrol hacmi yaklaşımı ile sabit ızgara tabanlı çözüm sıcaklığı ile kapsamlı bir sayısal analiz çalışması, ikinci olarak ITS kütle akım hızı, sıcaklık ve 120 adet sayısal bir dizi deney simüle edilmiş ve yeni ısı transferi katsayısı bir korelasyon geliştirmişlerdir [10].

Bédécarrats ekibi, klima veya soğutma için kullanılabilen endüstriyel bir enerji depolama sürecinin incelemesi, bir soğutma döngüsüne yerleştirilmiş rastgele dağılmış ticari nodüllerle doldurmuştur ve küçültülmüş boyutlu bir tank olan bir test tesisinin incelemesini yapmıştır. Nodüller, faz değişim malzemelerinin (FDM) kapsüllendiği küresel kapsüllerdir. Bu test tesisi, tankın davranışını, özellikle de aşırı soğutma ve deşarj modunu dikkate alarak şarj modu ile incelemeye elverişlidir. Hem çevreleyen ısı transfer sıvısının hem de nodüllerin içine paketlenmiş faz değişim malzemesinin yönlerini dikkate alan bir simülasyon programı, şarj ve deşarj işlemleri durumunda burada geliştirdiler. Simülasyon sonuçları daha sonra deneysel gözlemlerle karşılaştırılmıştır [11].

İsmail ve ekibi, depolama tankını şarj etmek ve deşarj etmek için çalışan bir sıvı sirkülasyon sistemi ile donatılmış silindirik bir tankın içine yerleştirilmiş FDM ile 10 adet küresel kapsüllerden oluşan bir depolama sistemini simüle etmek için sayısal bir model geliştirmiştir. Basitleştirilmiş geçici tek boyutlu modelde, tankın kalınlığı her zaman bir kapsül çapına eşit veya daha büyük olan bir dizi eksenel tabakaya bölünmesine dayanmıştır. Ayrıca, çalışma sıvısının sıcaklığının aynı olduğu ve tabakanın ortalama sıcaklığına eşit olduğu varsayılmıştır. Katılama süreci küresel kapsülün içinde, dış yüzeyde konvektif sınır koşulu olan iletken bir tek boyutlu faz değişim modeli kullanılarak çözülmüştür. FDM'nin sıvı fazında bulunan konveksiyon, FDM'nin sıvı bölgesinde katsayı etkin ısı iletimi kullanılarak işlenmiştir. Diferansiyel denklemlerin çözümü, sonlu fark yaklaşımı ile küresel kapsüller içindeki hareketli bir ızgara şeklinde gerçekleştirilmiştir. Sistemin geometrik ve operasyonel parametreleri hem sayısal hem de deneysel olarak incelenmiş, bunların şarj ve deşarj süreleri üzerindeki etkileri araştırılmıştır [12].

Hirose ve ekibi, enerji depolama üretilen endüstriyel enerjinin %50'sinden fazlasının soğutma suyunda ve egzoz gazlarında atıldığı sınırlı enerji kaynaklarını korumak için çalışma yapmıştır. Bu çalışma, faz değişimi enerji depolama birimlerinde ısı transferindeki artışın değerlendirilmesine odaklanmıştır. Deneyler, parafin mumu ve metal parçalarla doldurulmuş küresel kapsüller kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Deneyler, balmumu ve metal parçalarla doldurulmuş tek bir küresel kapsülün sıcak veya soğuk hava akışına sokulmasıyla gerçekleştirilmiştir. Deneysel ölçümler, küresel kapsül içindeki ve hava akışındaki sıcaklık alanını içermiştir. Metal parçaların geliştirme etkilerini belirlemek için, ölçülen veriler saf balmumu ile doldurulmuş

küresel bir kapsül için olanlarla ilişkilidir. Veri analizi, metal parçaların sayısını ve çapını arttırdıktan sonra erime ve katılaşma sürelerinde %15'lik bir azalma olduğunu göstermiştir. Bu azalma, balmumunun metal parçalarla değiştirilmesi nedeniyle kürenin termal yükünde benzer bir azalmadan kaynaklanmıştır. Küresel kapsülün küçük boyutu, geliştirme etkilerini sınırlar; bu, balmumu hacminin %2'sinin metal uçlarla değiştirildiği, erime veya katılaşma süresinde üç kat azalmaya ve ısı transfer hızında benzer bir artışa neden olan daha büyük boyutlu ve çift borulu bir enerji depolama ünitesinde ısı transferinin karşılaştırılmasıyla belirgindir [13].

Fang ve ekibi, küresel kapsüller ile soğuk depolama klima sisteminin çalışma özellikleri üzerine deneysel bir araştırma yapmıştır. Bunun için küresel kapsüller ile serin depolama klima deneysel sistemi kurulmuştur. Soğutma sisteminin buharlaşma basıncı ve yoğuşma basıncı, soğutma kapasitesi ve sistemin performans katsayısı (SPK), serin depolama tankındaki serin depolama hızı ve serin depolama kapasitesi, giriş ve çıkış soğutucusu gibi performans parametreleri şarj süresi boyunca soğuk depolama tankındaki sıcaklıklar ve soğuk depolama tankındaki soğuk deşarj oranı ve soğuk deşarj kapasitesi, soğuk depolama tankındaki çıkış ve giriş soğutma sıvısı sıcaklıkları ve boşaltma süresi boyunca oda fanlı soğutma sistemi ünitesindeki çıkış ve giriş havası sıcaklıkları araştırılmıştır. Deneysel sonuçlar, küresel kapsül dolu serin depolama klima sisteminin daha iyi performanslara sahip olduğunu ve şarj ve deşarj süresi boyunca istikrarlı bir şekilde çalışabileceğini göstermiştir [14].

ElGhnam ekibi, bina klima sistemleri için kullanılan termal buz depolama sistemlerinde sıklıkla bulunan küresel bir kapsül içindeki suyun dondurulması ve eritilmesi sırasında ısı transferi üzerine 4 deneysel bir çalışmanın sonuçlarını ortaya koymuştur. Farklı çaplarda ve malzemelerde küresel kapsüller test edilmiştir. Isı transfer sıvısı olarak %35 etilen glikolün sulu çözeltisi kullanılır (ITS). İncelenen başlıca parametreler, küresel kapsülün boyutu ve malzemesi, ısı transfer sıvısının (ITS) hacim akış hızı ve sıcaklığıdır. Bu parametrelerin tam şarj ve deşarj süresi, katılaşmış ve erimiş kütle fraksiyonu, şarj/deşarj oranı, depolanan ve geri kazanım enerjisi ve enerji geri kazanım oranı üzerindeki etkileri incelenmiştir. Deneysel sonuçlar, metalik kapsüller kullanıldığında enerji geri kazanım oranının daha iyi hale geldiğini, kapsül boyutunu arttırdığını ve ITS hacim akış hızlarını azalttığını göstermiştir [15].

Peng ve ekibi, ısı termal enerji depolama sisteminin davranışı analiz etmiştir. Erimiş tuz, dolgu maddesi olarak faz değişim malzemesi (FDM) kapsülleri olan ısı transfer sıvısı (ITS) için kabul edilmiştir. Geliştirilen modelde eş merkezli dağılım denklemleri kullanılmıştır, ancak kapsüllerin içindeki FDM faz değişimleri entalpi yöntemi kullanılarak analiz edilmiştir. Denklemler sonlu fark yaklaşımı ile sayısal olarak çözülmüştür ve elde edilen sonuçlar literatürden yapılan deneylerle doğrulanmıştır. FDM kapsül çapının (d_p), sıvı giriş hızının (u_f) ve sistemin sıcaklık profillerinde depolama tankının yüksekliği (H) araştırılmıştır. Ayrıca, çeşitli çalışma koşulları için şarj verimliliğinin ayrıntılı bir açıklaması da sunulmuş ve tartışılmıştır. Sonuçlar, FDM kapsülünün boyutunu ve sıvı giriş hızını azaltmanın veya depolama yüksekliğini arttırmanın, şarj verimliliğinde bir artışa neden olduğunu göstermiştir [16].

Taha ve ekibi, gizli bir termal enerji depolama sisteminin performansını iyileştirmenin bir yolu olarak çoklu FDM tasarımı üzerinde çalışmıştır. Bu tasarımda, farklı termofiziksel özelliklere sahip faz değişim malzemesi (FDM'ler) ile küresel kapsüller kullanılmıştır. Kapsüller, FDM erime sıcaklığına bağlı olarak farklı bölümlerde konulmuştur. Erime sıcaklığı değişimi, yatak boyunca ısı transfer sıvısı (ITS) sıcaklık profiline uyacak şekilde seçilmiştir. Bu, ITS ve FDM'ler arasındaki ısı transfer hızını en üst düzeye çıkarmak için yapılmıştır. Çoklu FDM tasarımının şarj ve deşarj oranını arttırdığı, böylece birçok araştırmacı tarafından bildirildiği gibi gizli ısı termal enerji depolama sisteminin (GTEDS) dinamik performansını arttırdığı bulunmuştur. Bununla birlikte, aşamaların sayısı arttıkça iyileşme derecesi daha fazla araştırma gerektirmiştir. Bu çalışmada, farklı bölümlerde farklı özelliklere sahip FDM'lerle doldurulmuş küresel kapsüller kullanan gizli bir termal enerji depolama sistemi ele alınmıştır. İki ve üç aşamalı tekli FDM tasarımı ve çoklu FDM tasarımı incelenmiştir. Sistemlerin performansı, şarj ve deşarj oranı, ısı transfer oranı ve depolama kapasitesi açısından hesaplanıp ve sunulmuştur. Sonuçlar, aşama sayısı arttıkça, çoklu FDM termal enerji depolama (BTED) performansının arttığını göstermiştir. Bununla birlikte, üçten fazla aşama kullanmak kayda değer bir gelişme olmamıştır [17].

Yang ve ekibi, üç çeşit faz değişim malzemesi (FDM) küresel kapsüller kullanılarak ısı depolama sistemi sunulmuş ve sayısal olarak incelenmiştir. Kapsüller, düz bir plaka güneş kolektörü ile bağlanan bir sisteme doldurulmuştur. Kapsüller, FDM'nin erime sıcaklığına göre seri olarak yerleştirilmiştir. Su, ısı transfer sıvısı (ITS) olarak

kullanılmıştır ve güneş kolektöründe ısıtılmıştır. Güneş enerjisi FDM'ye aktarılmış ve gizli termal enerji olarak korunmuştur. ITS ve FDM kapsüllerinin ısı transfer süreçleri sonlu fark yöntemi ile modellenmiş ve sayısal olarak hesaplanmıştır. Sıvı fazın etkili termal iletkenliği, doğal konveksiyonun erime sırasında ısı transferi üzerindeki etkisini hesaba katmak için kullanılmıştır. Çok tipli sistemin enerji ve ekserji performansları incelenmiş ve tek tip FDM sistemin performansları ile karşılaştırılmıştır. Güneş kolektörünün performansı da araştırılmıştır. Karşılaştırma sonuçları, bu yeni tip ısı depolama sistemin geleneksel sisteme göre daha yüksek enerji ve ekserji transfer verimliliğine sahip olduğunu ve güneş kolektörünün ortalama enerji ve ekserji toplama verimliliğinin de daha yüksek olduğunu göstermiştir [18].

Ahmet ve ekibi, polimetilmetakrilat (PMMA) kabuğu ile mikro/nano kapsüllenmiş parafin ötektik karışımlarının (PEMs) gizli ısı termal enerji depolama özelliklerinin hazırlanması, karakterize edilmesi ve belirlenmesini amaçlayan bir çalışma yapmıştır. Kapsülleme işlemlerinden önce C17-C24, C19-C18, C19-C24 ve C20-C24 karışımlarının ötektik kombinasyon oranları ve optimum erime sıcaklıkları tespit edilmiştir. Dört çeşit mikro/nano kapsül, PMMA/(C17-C24), PMMA/(C19-C18), PMMA/(C19-C24) ve PMMA/(C20-C24), emülsiyon polimerizasyonu yoluyla yeni kapsüllenmiş faz değişim malzemeleri (FDM'ler) olarak etkin bir şekilde sentezlenmiştir. Fourier kızılötesi dönüşümü (FTIR) spektroskopisi analizi, çekirdek malzeme olarak kullanılan PEM çevresinde polimerizasyon reaksiyonunun meydana geldiğini doğrulanmıştır. Polarize optik mikroskobu (POM), taramalı elektron mikroskobu (SEM) ve parçacık boyutu dağılımı (PBD) analizi, üretilen PMMA/PEM mikro/nano kapsüllerin mikro/nano boyutlara sahip küresel bir şekle sahip olduğunu göstermiştir. Diferansiyel tarama kalorimetresi (DTK) ölçümleri, en yüksek PEM içeriğini içeren mikro/nano kapsüllerin yaklaşık 20-36 °C erime sıcaklığı aralığına sahip olduğunu ortaya koymuştur ve yaklaşık 86-169 J/g gizli ısı depolama kapasiteleri olduğu gözlemlenmiştir. Termogravimetrik analizi (TGA) sonuçları, kapsüllenmiş PEM'lerin 5000 kez tekrarlanan erime/donma döngülerinden sonra iyi termal güvenilirliğe ve kimyasal stabiliteye sahip olduğunu doğrulanmıştır. Ayrıca, sentezlenmiş PMMA / PEM mikro / nano kapsüller akla gelebilecek termal iletkenlik değerlerine ve tersinir faz değişim davranışlarına sahip olduğu tespit edilmiştir [19].

Asgharian ve ekibi, küresel kapsüllere dayanan bir buz deposu sisteminin performansını deneysel olarak analiz etmiş ve farklı parametrelerin etkileri sayısal bir model kullanılarak incelemiştir. Enerji depolama sisteminin optimum tasarımı için sayısal simülasyon yapılmış ve sayısal simülasyonun sonuçları deneysel verilerle doğrulanmıştır. Ayrıca, buz deposunun içindeki sıcaklık dağılımı deneysel ve sayısal olarak değerlendirilmiş ve küresel kapsüllerin duvarından ısı transfer hızı ve bu küresel kapsüllerin içindeki sıvı akışı, şarj ve deşarj işlemleri sırasında sayısal simülasyonlar kullanılarak belirlenmiştir. Sonuçlar, ısı transfer sıvısı için iki girişin kullanıldığını göstermiş (ITS), şarj süresinin 11 dakika azalmasına ve verimliliğin %37 artmasına neden olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca, şarj ve deşarj modlarında en iyi verim sırasıyla 0,04 kg/s kütle akış hızı kullanılarak %77 ve %51'dir. Ayrıca sonuçlar, küresel kapsüllerin sayısının 60'tan 120'ye yükselmesiyle sistemin kapasitesinin artmasıyla, şarj ve deşarj işlemleri sırasında sistem verimliliğinin sırasıyla %26 ve %23 arttığını göstermiştir [20].

2. BÖLÜM

YÖNTEM VE MATERYAL

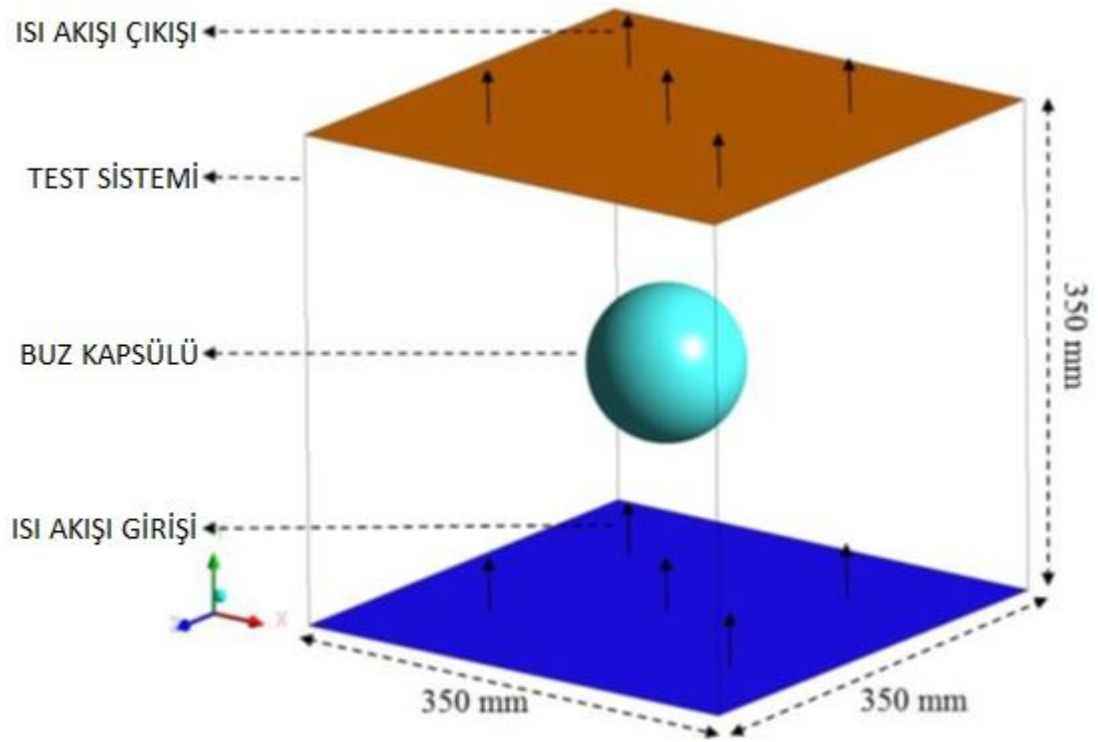
Bu tez çalışmasında mühendislik uygulamalarında en çok kullanılan küresel kapsüller incelenmiştir. Yöntem olarak;

1. Kapsüllerin tasarımı
2. Kapsüllerin HAD analizleri
3. Kapsüllerin ısıl gerilme analizleri
4. Sonuçların yorumlanması ve değerlendirme

sıralama kullanılmıştır.

Yapılan çalışmaya göre seçilen Ø110mm çapındaki buz kapsülü modelleri 0.5mm, 1mm, 1.5mm, 2mm, 2.5mm, 3mm, 3.5mm, 4mm kalınlıklardaki 6 adet form şekli belirlenerek plastik malzemeden yapılmış olan kapsüller içlerinde buz olacak şekilde modellenerek -5°C'den 30°C'ye çıkarılarak erime ve bunun sonucunda oluşan gerilme, deformasyon sonuçları araştırılmıştır. Ve bunun sonucunda uygun kapsüller ve kalınlıklar irdelenmiştir. Bu sıcaklık değerlerinin seçilmesinin nedeni üretim koşullarında ve buzda soğukluk depolama sisteminde yaşanabilecek arıza gibi durumlarda buz kapsüllerinin tamamıyla eridiği ve oda sıcaklığına gelebileceği noktaları irdellemek için seçilmiştir.

Analizin yapılacağı şekil ve modelleme bu bölümde belirtilmiştir. Modelleme oda sıcaklığında ve uzay boşluğunda bir adet buz kapsülünün sıcaklığının artmasıyla erime, sıcaklık dağılımı, gerilmeler incelenmiştir.



Şekil 2.1. Örnekleme olarak kullanılan test ortamı [22]

2.1. Matematiksel Metod

Dairesel bir plakada termal stres problemi için katı plaka özel bir durum olarak $r_i \rightarrow 0$ sorunun çözümü için radyal olarak simetrik ve stressiz iç ve dış sınırları seçilmiştir.

$$\sigma_r = \frac{C_3}{r^2} + C_2 - \frac{E\alpha}{r^2} \int T r dr$$

Sınır koşulları,

$$\sigma_r(r_i) = \sigma_r(r_0) = 0$$

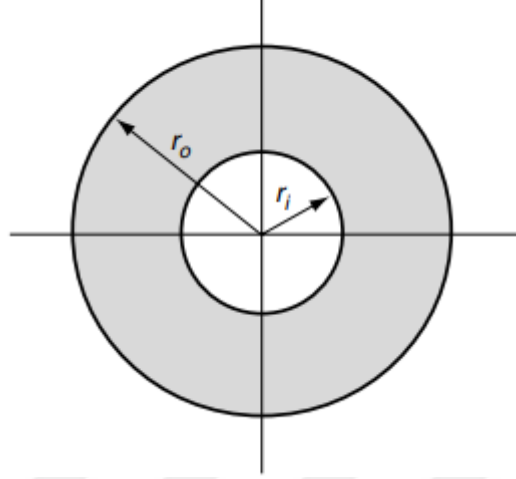
Bu sonuçları birleştiren denklemler c_2 ve c_3 sabitleri belirlenir.

$$\sigma_r = \frac{E\alpha}{r^2} \left\{ \frac{r^2 - r_i^2}{r_0^2 - r_i^2} \int_{r_i}^{r_0} T(\xi) \xi d\xi - \int_{r_i}^r T(\xi) \xi d\xi \right\}$$

$$\sigma_\theta = \frac{E\alpha}{r^2} \left\{ \frac{r^2 - r_i^2}{r_0^2 - r_i^2} \int_{r_i}^{r_0} T(\xi) \xi d\xi - \int_{r_i}^r T(\xi) \xi d\xi - T r^2 \right\}$$

Ve yer değiştirme işlemi ile çözüm yapılır.

$$u = \frac{\alpha}{r} \left\{ (1 + \nu) \int_{r_i}^r T(\xi) \xi d\xi + \frac{(1-\nu)r^2 + (1+\nu)r_i^2}{r_0^2 - r_i^2} \int_{r_i}^{r_0} T(\xi) \xi d\xi \right\}$$



Şekil 2.2. Dairesel plaka [21]

Gerilme ve yer değiştirme alanlarını belirlemek için, sıcaklık dağılımı belirlenmiştir. Bu enerji korunumu veya ısı iletim denkleminde hesaplanmıştır. Kararlı durum koşulları varsayıldığında, iletim denklemi şu şekildedir:

$$\frac{1}{r} \frac{d}{dr} \left(r \frac{dT}{dr} \right) = 0$$

Bu denklemin çözümü kolayca elde edilir.

$$T = A_1 \log r + A_2$$

Termal sınır koşulları,

$$T(r_i) = T_i$$

$$T(r_o) = T_o$$

A1 ve A2 sabitleri belirlenir ve sıcaklık çözümü şu şekilde elde edilir:

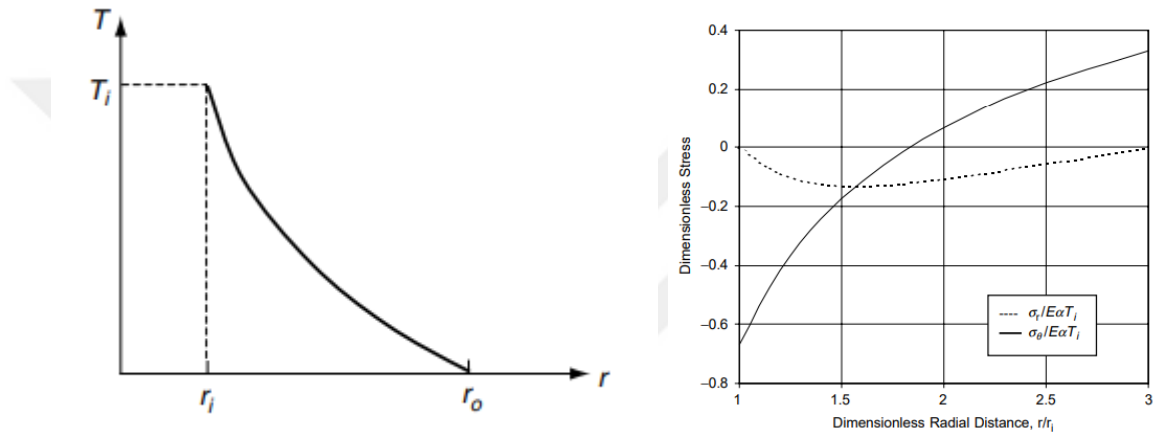
$$T = \frac{T_i}{\log\left(\frac{r_i}{r_o}\right)} \log\left(\frac{r}{r_o}\right) = \frac{T_i}{\log\left(\frac{r_o}{r_i}\right)} \log\left(\frac{r_o}{r}\right)$$

$T_i > 0$ durumu için bu dağılım Şekil 12-3'te şematik olarak gösterilmiştir. Bu sıcaklık dağılımını stres çözümüne (2) denkleminde yerine koyarsak,

$$\sigma_r = \frac{E\alpha T_i}{2 \log(r_0 - r_i)} \left\{ -\log\left(\frac{r_0}{r}\right) - \frac{r_i^2}{r_0^2 - r_i^2} \left(1 - \frac{r_0^2}{r^2}\right) \log\left(\frac{r_0}{r}\right) \right\}$$

$$\sigma_\theta = \frac{E\alpha T_i}{2 \log(r_0 - r_i)} \left\{ -\log\left(\frac{r_0}{r}\right) - \frac{r_i^2}{r_0^2 - r_i^2} \left(1 - \frac{r_0^2}{r^2}\right) \log\left(\frac{r_0}{r}\right) \right\}$$

$T_i > 0$, $\sigma_r < 0$ ve çember gerilimi s maksimum olduğunda bu çözüme dikkat edin. Plakanın iç ve dış sınırlarındaki değerler $r_0/r_i=3$ özel durumu için, plaka boyunca stres dağılımı Şekil 2’de gösterilmektedir.



Şekil 2.2. Dairesel plakada sıcaklık dağılımı ve dairesel plakada gerilim dağılımı
($r_0/r_i=3$) [21]

$r_0 \approx r_i$ 'nin bulunduğu ince bir halka plaka durumunda, $r_0/r_i=1+\varepsilon$ ifadesi ε parametresi yazılabilir.

Logaritmik terim kullanılarak basitleştirilebilir.

$$\log\left(\frac{r_0}{r_i}\right) \approx \log(1 + \varepsilon) \approx \varepsilon - \frac{\varepsilon^2}{2} + \frac{\varepsilon^3}{3} - \dots$$

Bunun dışında,

$$\sigma_\theta(r_i) \approx -\frac{E\alpha T_i}{2} \left(1 + \frac{\varepsilon}{3}\right) \approx -\frac{E\alpha T_i}{2}$$

$$\sigma_\theta(r_0) \approx \frac{E\alpha T_i}{2} \left(1 - \frac{\varepsilon}{3}\right) \approx \frac{E\alpha T_i}{2}$$

Son olarak, iç yarıçap r_0 'nin sıfıra düşmesine izin vererek, bir katı için dairesel plaka çözümü elde ederiz. Bu durumda, çözümdeki (1) denkleminde sabit C_3 için sıfıra ayarlanmalıdır. Sıfır sınır yüklemesi için ortaya çıkan gerilme alanı,

$$\sigma_r = E\alpha \left\{ \frac{1}{r^2} \int_0^{r_0} T r dr - \frac{1}{r^2} \int_0^r T r dr \right\}$$

$$\sigma_\theta = E\alpha \left\{ \frac{1}{r^2} \int_0^{r_0} T r dr + \frac{1}{r^2} \int_0^r T r dr - T \right\}$$

$\frac{1}{r^2} \int T r dr$ ifadesi sınırsız olasılığını gösterir. Bu terim L'HOSPİTAL kuralı kullanılarak çözülebilir,

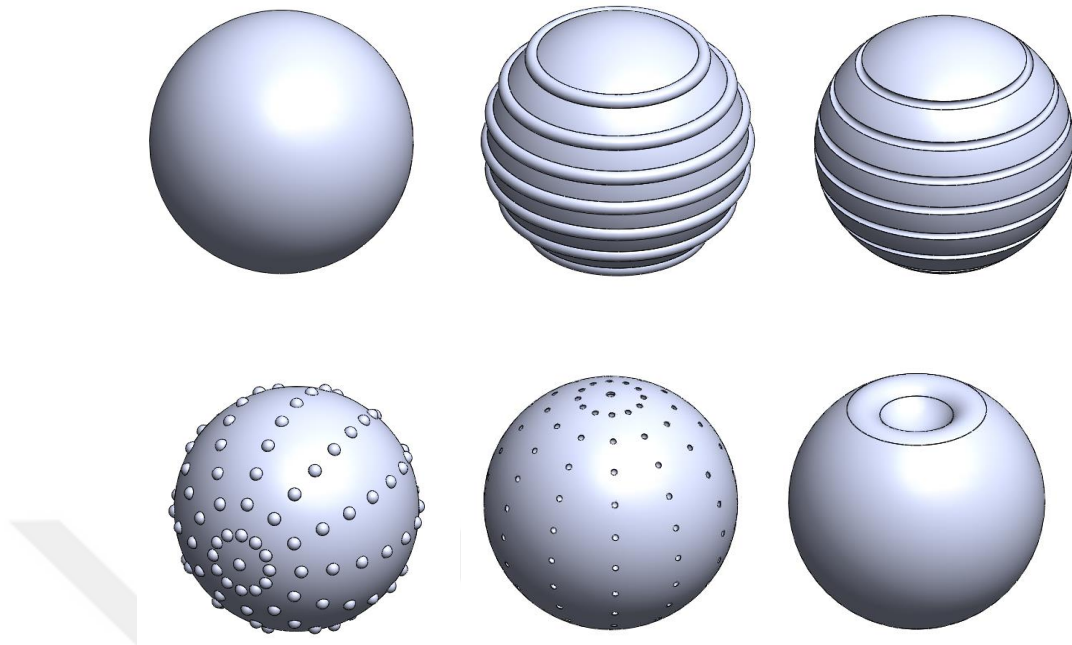
$$\lim_{r \rightarrow 0} \left(\frac{1}{r^2} \int_0^{r_0} T r dr \right) = \frac{1}{2} T(0)$$

Başlangıçtaki sıcaklığın sonlu olmasını beklediğimizden, bu sınır daha sonra gerilmeler de $r=0$ 'da sonlu olacaktır. Orijindeki sıcaklığın bu sınırın sonlu olmasını beklediğimizden gerilmelerin bir sıcaklık sınır koşulu $T(r_0)=T_0$ kullanıldığında da sonlu olacağı anlamına gelir genel çözüm (5) denkleminin merkez plakası boyunca tekdüze bir sıcaklık $T=T_0$ olarak belirlenir.

Bu durumda (9) denklemi $\sigma_r = \sigma_\theta = 0$ ve plaka böylece serbest gerilir. Sıfır sınır kesirlerine sahip basit bir şekilde bağlanmış bir bölgedeki sıcaklık dağılımı verir sıfır strese yükselir. Düzlem gerilimi için önceki sonuçlar kolayca düzleme dönüştürülebilir elastik sabitlerin uygun dönüşümünü kullanarak çözülür [21].

2.2. Had ve Isıl Gerilme Analizleri

Çalışmalar kapsamında ilk olarak biri normal küre ve 5 tane geometrik olarak değiştirilmiş kapsül olmak üzere toplamda 6 farklı kapsül tasarlanmıştır. Tasarlanacak olan kapsüller daha önce literatürde yapılmış olan çalışmaların ışığında Şekil 2.3'te görülen kapsül modellerinin temelinde hazırlanmıştır. Şekil 2.3'teki kapsüller iç kısmında su hacmi ve kapsülün cidarı olmak üzere iki ayrı hacim olarak tasarlanmıştır.



Şekil 2.3. İncelen buz kapsüllerinin tasarımları [2]

Kapsül modelleri belirlendikten sonra Solidworks programı ile katı modelleri çizilmiştir. Hangi kapsül modellerinin ısı performanslarını belirlemek için Ansys Fluent programında sayısal olarak çözümlenmiştir. Kapsül içerisindeki erime modellemek için Fluent programının “solid/ficationand/melting” modülü kullanılmıştır.

Bu modelleme dış yüzeyde -5°C 'den 30°C 'ye sıcaklık değişimi ile hem sıcaklık değişiminden hem de hal değişiminden kaynaklanan erime kesiti ve sıcaklık dağılımı görüntüleri alınmıştır.

Isıl gerilme analizler için de ısı performans analizlerinden sonra kapsül modellerinin ısı gerilme analizleri yapılmıştır. Bu kapsamda Ansys Workbench'in “fluid/structuralinteraction” modülü kullanılmıştır. HAD analizlerinden alınan sıcaklık verileri Ansys yazılımına aktarılmış ve kapsül cidarındaki ısı gerilmeler hesaplanmıştır. Bu modelleme dış yüzeyde -5°C 'den 30°C 'ye sıcaklık değişimi ile hem sıcaklık değişiminden hem de hal değişiminden kaynaklanan termal gerilmeler görüntüleri alınmıştır. Bu sebeple daha iyi görüntü almak için termal gerilmeler tespit edilirken kesit alınarak, montaj halinde ve sadece plastik kabuk olacak şekilde görüntüler alınmıştır.

Optimum buz kapsülü tasarımını belirlemek için parametrik çalışma gerçekleştirilmiştir. Bu doğrultuda kapsül çapının, geometrisinin ve cidar kalınlığının ısı gerilme üzerindeki

etkileri belirlenmiştir. Böylece optimum kapsül cidar kalınlığı belirlenmiştir. Ayrıca farklı kapsül malzemelerin etkisi de incelenip hem ısı performans hem ısı gerilme hem de ekonomik açıdan optimum kapsül modeli belirlenmiştir.

Kapsülü oluşturan malzemeler;

Tablo 21. Buzun malzeme özellikleri

BUZ	Malzeme Özellikleri	Değeri	Birimi
1	Yoğunluk	920	kg/m ³
2	Termal Genleşme Katsayısı	$1,2 \times 10^{-5}$	°C ⁻¹
3	Erime Noktası Sıcaklığı	0	°C
4	Young Modülü	$9,1 \times 10^9$	Pa
5	Poisson Oranı	0,33	-
6	Akma Dayanımı	$2,5 \times 10^8$	Pa
7	Çekme Dayanımı	$4,6 \times 10^8$	Pa

Tablo 2.2. HDPE'nin malzeme özellikleri

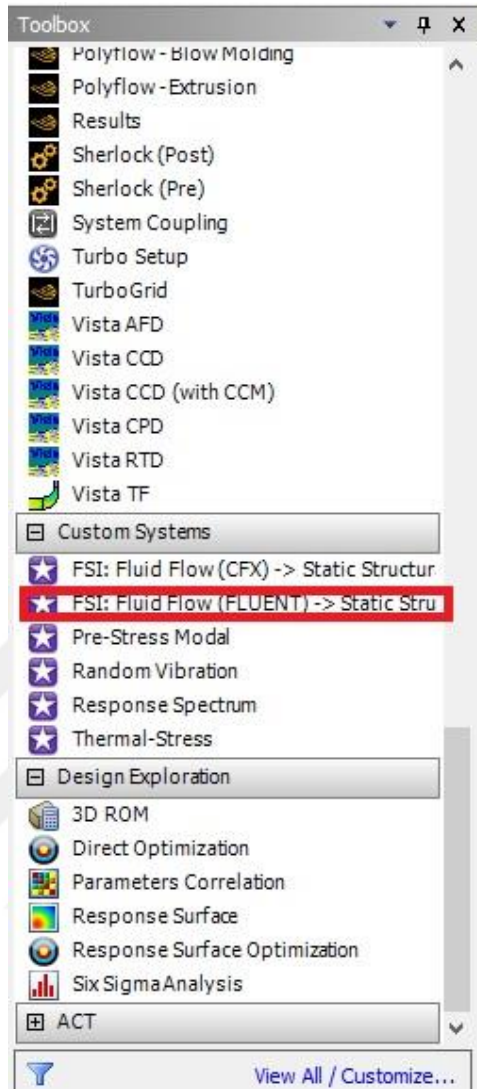
HDPE	Malzeme Özellikleri	Değeri	Birimi
1	Yoğunluk	945	kg/m ³
2	Termal Genleşme Katsayısı	$1,45 \times 10^{-4}$	°C ⁻¹
3	Erime Noktası Sıcaklığı	130	°C
4	Young Modülü	$1,08 \times 10^9$	Pa
5	Poisson Oranı	0,418	-
6	Akma Dayanımı	$2,84 \times 10^7$	Pa
7	Çekme Dayanımı	$2,84 \times 10^7$	Pa

2.3. Ansys Programın Kullanımı

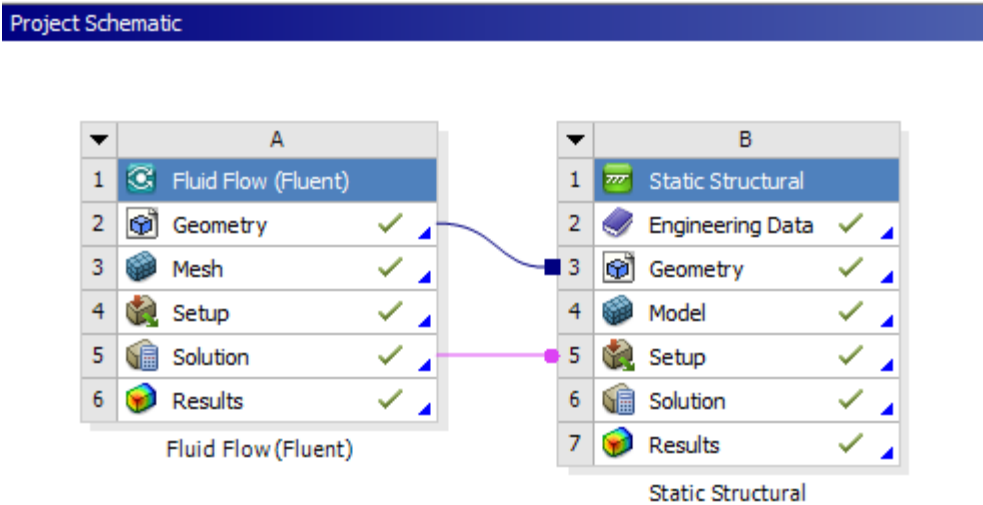
Ansys yazılım programında çözülecek analiz türüne göre birçok kategori mevcuttur. Bu analiz türünün dışında ise Explicit Dynamics, Fluid Flow, Modal, Rigid Dynamics vb. fazlası alt modüller yer almaktadır.

Bu çalışmada ise HDPE malzeme ile ambalajlanmış çeşitli şekillerdeki buz kapsüllerinin sıcaklıkla değişimi sırasında buz kapsüllerinin plastik malzemeye yaptığı gerilmeler, erime sırasında sıcaklık ve erime kesitleri analizi yapılmıştır.

Workbench programında FSI:Fluid Flow(FLUENT) çalışma şablonu seçilmiştir.



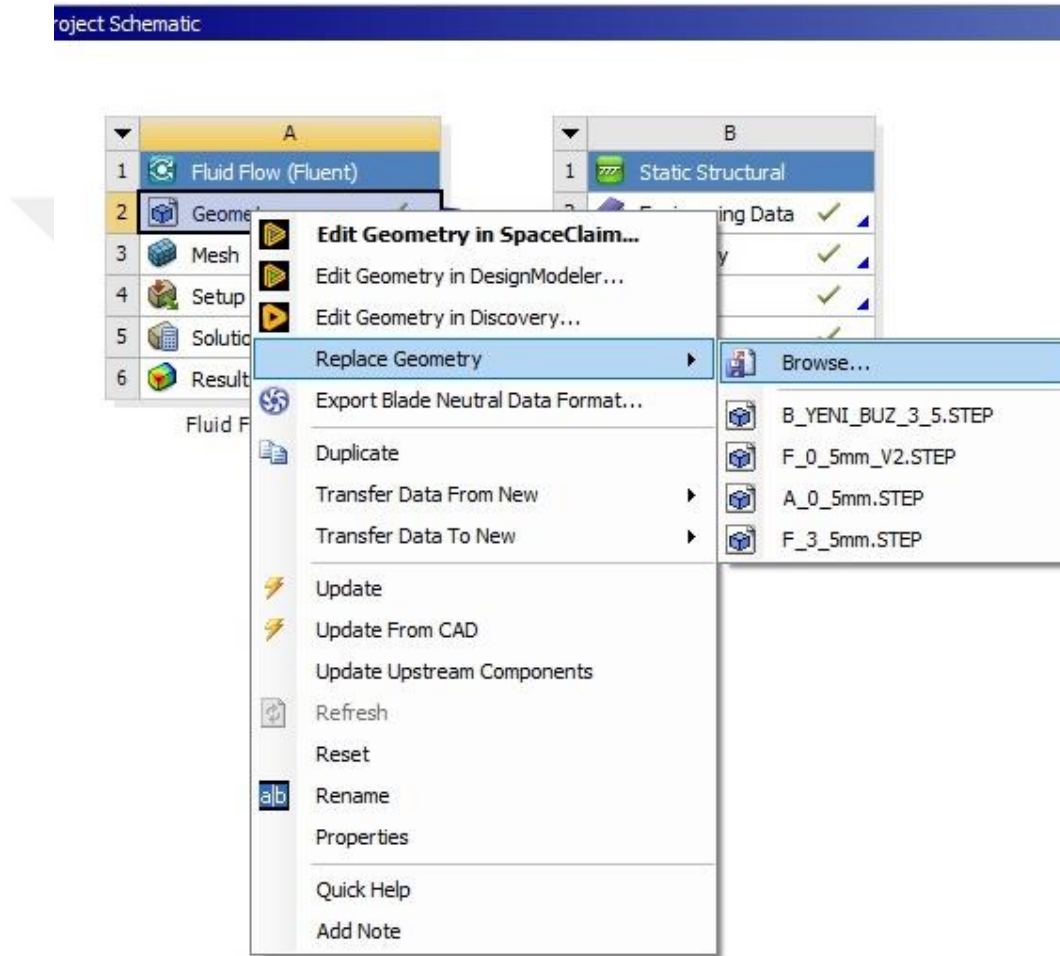
Şekil 2.4. Workbench araç çubukları FSI:Fluid Flow(FLUENT) uygulaması



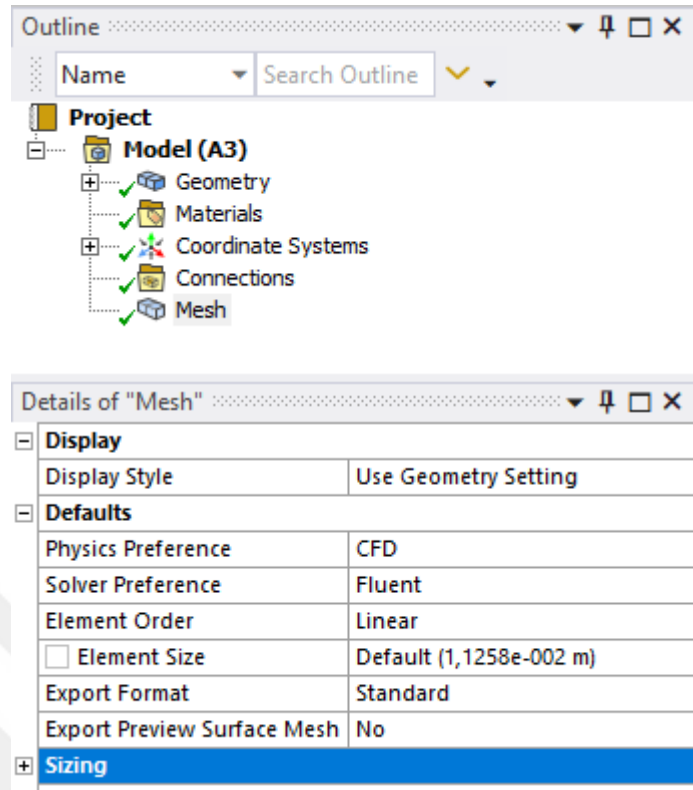
Şekil 2.5. Workbench proje şeması alanı çalışma şablonu

2.3.1. Mesh Ayarlarının Yapılması

Geometry ile ilgili parçamızın analizini yapmak için yüklenmiştir. Mesh ile uygulama açılmıştır ve ayarlar yapılarak mesh alınmıştır. Burada CFD ve Fluent seçili olmasına dikkat edilmiştir. Bu adımdan sonra Mesh ile Genarete Mesh yapılarak ve mesh alma işlemi tamamlanmıştır.

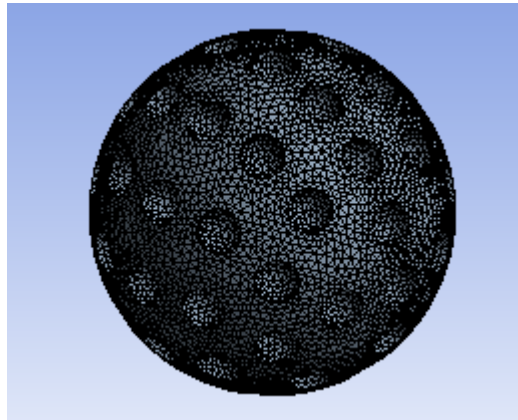


Şekil 2.5. Analiz parçasını programa aktarma



Şekil 2.6. Mesh ayarları

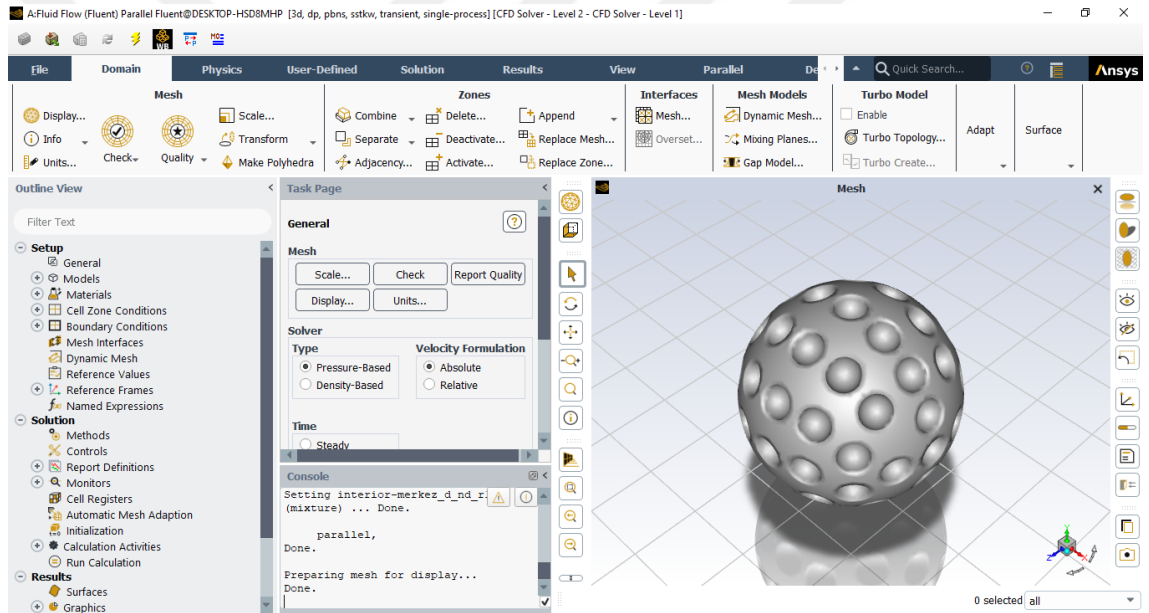
Sonlu elemanlar analiz yönteminde problemlerin çözümlenmesinde dikkate alınması gereken diğer önemli aşamalardan bir tanesi de problemin sonlu eleman ağının oluşturulmasıdır. Bu meshleme olayı, modelleme de boyutları/alanları belirlenmiş elemanları meshleme ile çok küçük elemanlara (boyutlara/alanlara) bölme işlemi olarak tanımlanabilir.



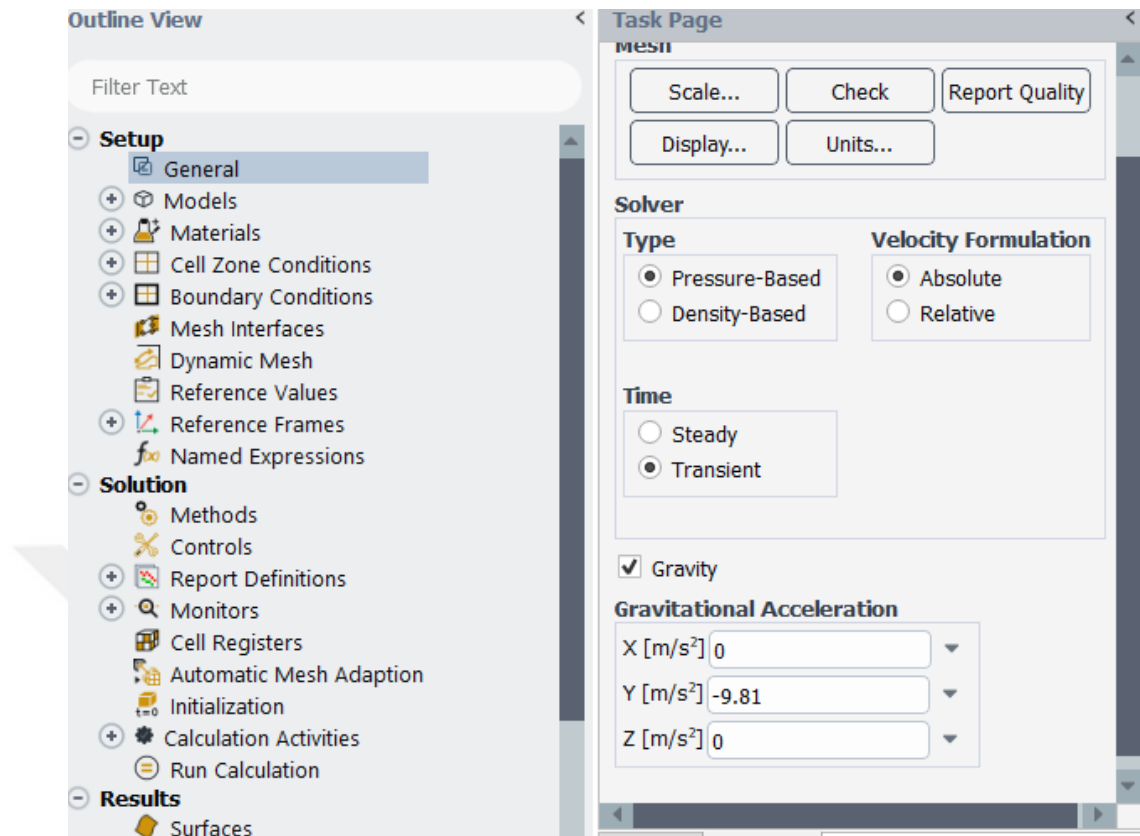
Şekil 2.7. Meshlenmiş buz küresi örneği

2.3.2. Fluent Analiz Ayarlarının Yapılması

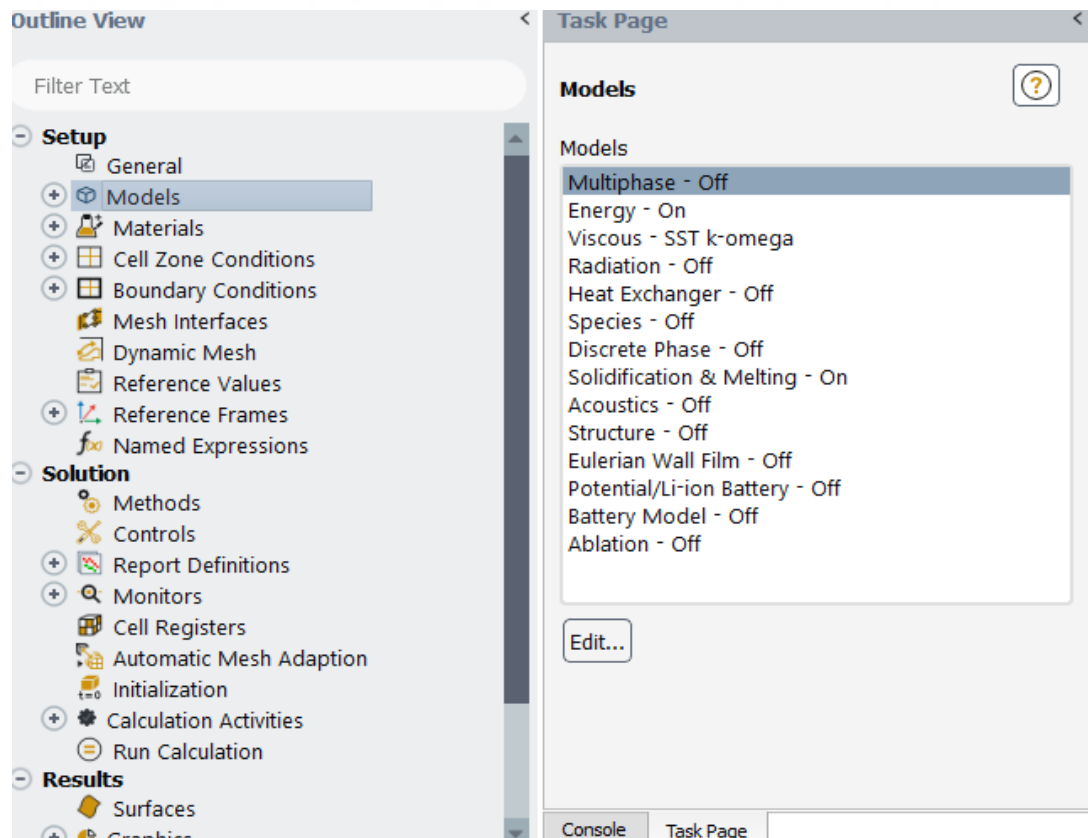
Erime kesiti ve sıcaklık dağılımını hesaplamak ve buradan alınan verileri Static Structural analizlerinde kullanmak için aktarılacak üzere sınır değerler girilmiştir. General seçilmiştir ve Transient seçilmiştir ve yer çekimi ivmesi girilmiştir. Models seçilmiştir ve Energy ve Solidification sekmelerinin açık konumda olmasına dikkat edilmiştir. Materials seçilmiştir ve alt kısımdaki Create/Edit seçilerek malzeme alanına girilmiştir. Malzemeler bu alanda oluşturulmuştur. Cell Zone Conditions seçilmiştir ve buzun ve kapsülün malzeme ataması yapılmıştır. Methods ayarlarından Pressure'ın PRESTO! seçili olmasına dikkat edilmiştir. Initialization seçilmiştir ve 30°C'ye kadar adım adım sıcaklığın artırılacağı belirlenmiştir. Run Calculation ile 10 adımda, her bir adımda 10 defa iterasyon yapılarak analiz yapılmıştır.



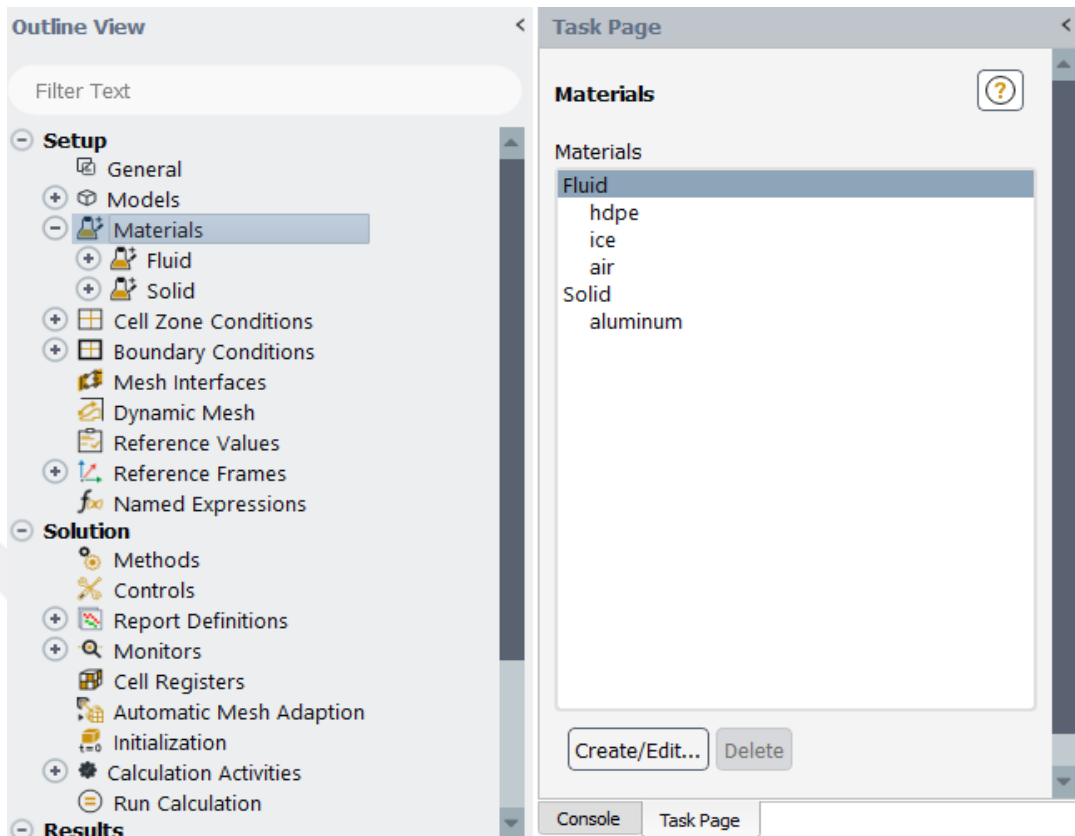
Şekil 2.7. Setup ayarları



Şekil 2.8. General ayarları



Şekil 2.9. Models ayarları



Şekil 2.10. Materials Ayarları

The 'Create/Edit Materials' dialog box is shown for the material 'hdpe'. The 'Material Type' is set to 'fluid'. The 'Chemical Formula' field is empty. The 'Order Materials by' section has 'Name' selected. The 'Properties' section lists various material properties with their values and units:

Property	Value	Unit
Density	constant	kg/m ³
Cp (Specific Heat)	constant	J/(kg K)
Thermal Conductivity	constant	W/(m K)
Viscosity	constant	kg/(m s)
Pure Solvent Melting Heat	constant	J/kg
Solidus Temperature	constant	°C
Liquidus Temperature	constant	°C

At the bottom of the dialog, there are buttons for 'Change/Create', 'Delete', 'Close', and 'Help'.

Şekil 2.11. HDPE'nin Malzeme Özellikleri

Create/Edit Materials

Name: ice

Material Type: fluid

Chemical Formula: h2o<s>

Fluent Fluid Materials: ice (h2o<s>)

Mixture: none

Order Materials by: ☒ Name ☐ Chemical Formula

Fluent Database...
GRANTA MDS Database...
User-Defined Database...

Properties

Cp (Specific Heat) [J/(kg K)]: 915 constant Edit...

Thermal Conductivity [W/(m K)]: 2800 constant Edit...

Viscosity [kg/(m s)]: 0.0454 constant Edit...

Pure Solvent Melting Heat [J/kg]: 1.72e-05 constant Edit...

Solidus Temperature [C]: 334000 constant Edit...

Liquidus Temperature [C]: 0 constant Edit...

0

Change/Create Delete Close Help

Şekil 2.12. Buzun Malzeme Özellikleri

Outline View

Filter Text

- Setup
 - General
 - Models
 - Materials
 - Fluid
 - Solid
 - Cell Zone Conditions
 - Fluid
 - e_buz_none (fluid, id=7)
 - kapsul_e_0_5_none (fluid, id=8)
 - merkez_d_nd_r1 (fluid, id=9)
 - Boundary Conditions
 - Mesh Interfaces
 - Dynamic Mesh
 - Reference Values
 - Reference Frames
 - Named Expressions
- Solution
 - Methods
 - Controls
 - Report Definitions
 - Monitors
 - Cell Registers
 - Automatic Mesh Adaption

Task Page

Materials

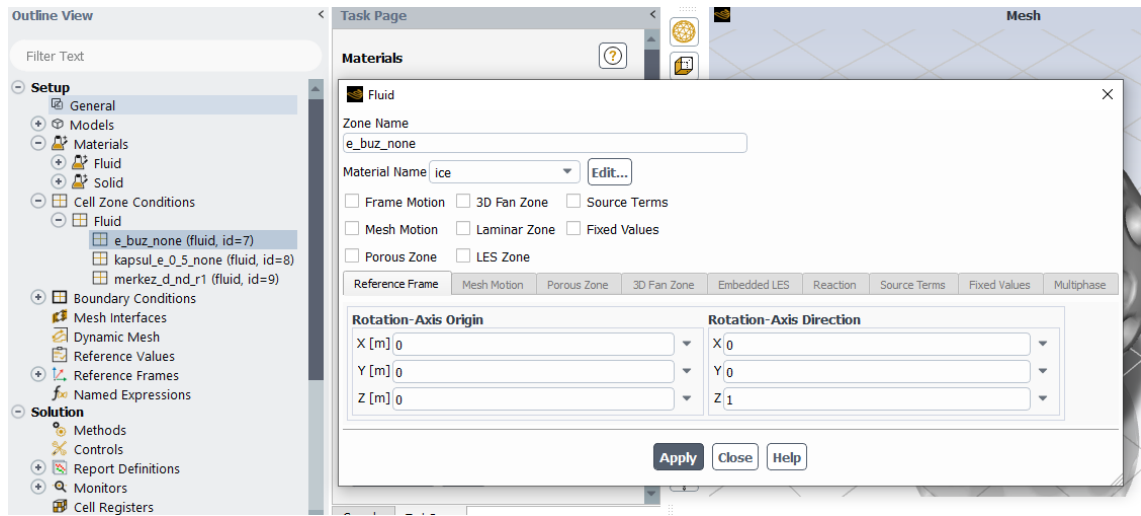
Materials

- Fluid
 - hdpe
 - ice
 - air
- Solid
 - aluminum

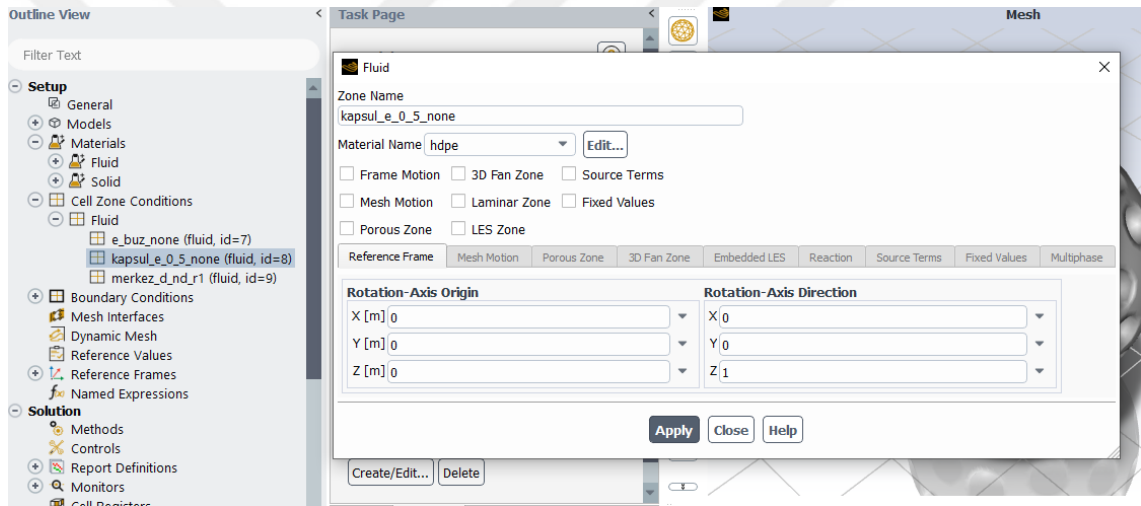
Create/Edit... Delete

Console Task Page

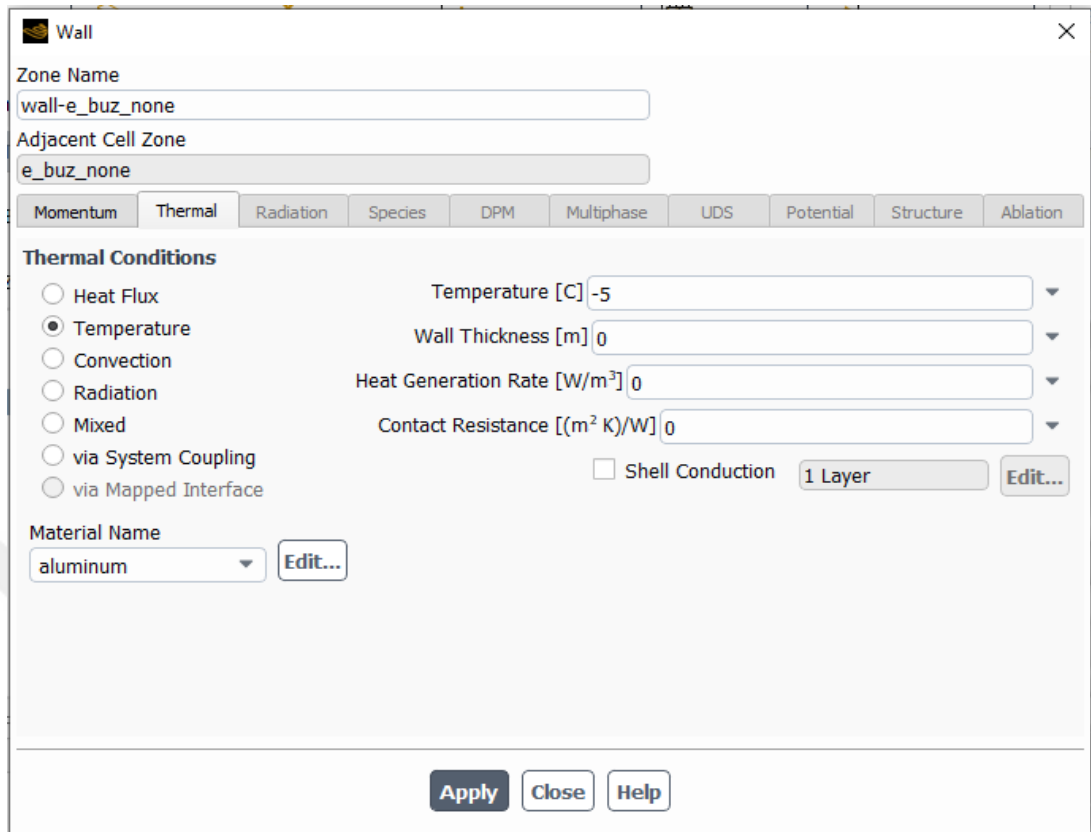
Şekil 2.13. Cell Zone Conditions Ayarları



Şekil 2.14. Buzun Malzeme Ataması



Şekil 2.15. Boundry Conditions Ayarları



Wall

Zone Name
wall-e_buz_none

Adjacent Cell Zone
e_buz_none

Momentum Thermal Radiation Species DPM Multiphase UDS Potential Structure Ablation

Thermal Conditions

☐ Heat Flux Temperature [C] -5

☒ Temperature Wall Thickness [m] 0

☐ Convection Heat Generation Rate [W/m³] 0

☐ Radiation Contact Resistance [(m² K)/W] 0

☐ Mixed

☐ via System Coupling

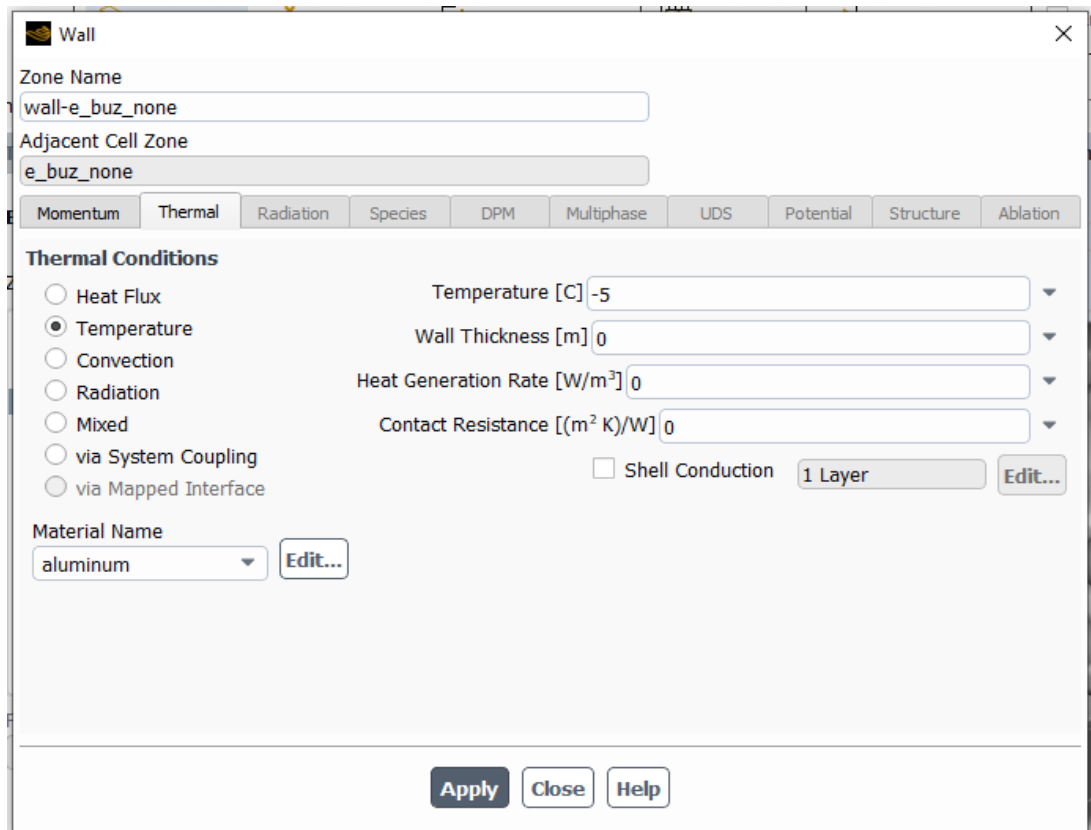
☐ via Mapped Interface

☐ Shell Conduction 1 Layer Edit...

Material Name
aluminum Edit...

Apply Close Help

Şekil 2.16. Buzun sıcaklık değeri -5°C girilmiştir



Wall

Zone Name
wall-e_buz_none

Adjacent Cell Zone
e_buz_none

Momentum Thermal Radiation Species DPM Multiphase UDS Potential Structure Ablation

Thermal Conditions

☐ Heat Flux Temperature [C] -5

☒ Temperature Wall Thickness [m] 0

☐ Convection Heat Generation Rate [W/m³] 0

☐ Radiation Contact Resistance [(m² K)/W] 0

☐ Mixed

☐ via System Coupling

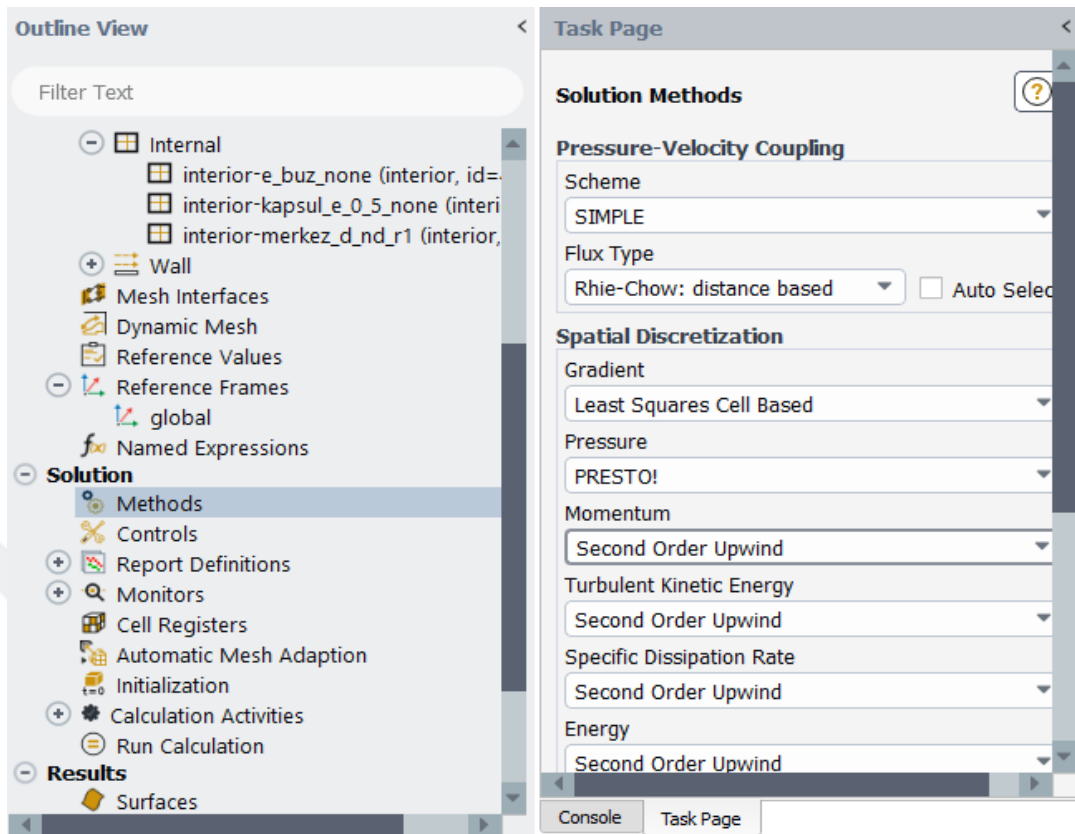
☐ via Mapped Interface

☐ Shell Conduction 1 Layer Edit...

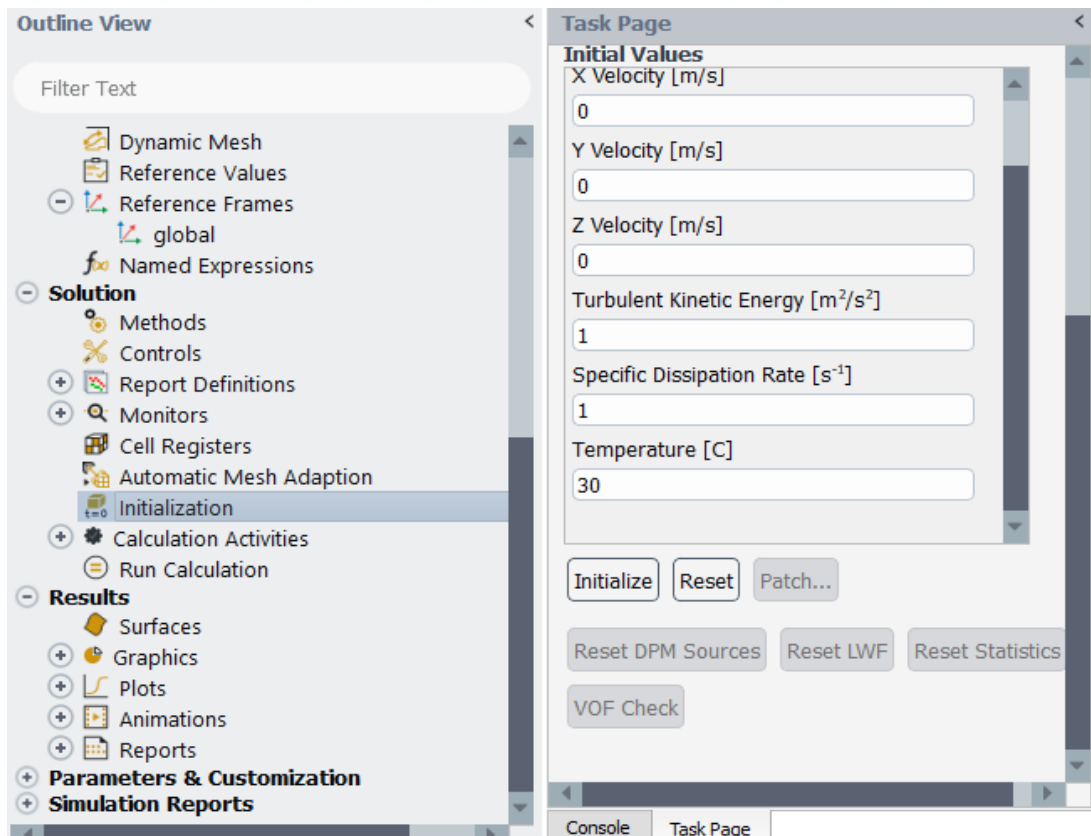
Material Name
aluminum Edit...

Apply Close Help

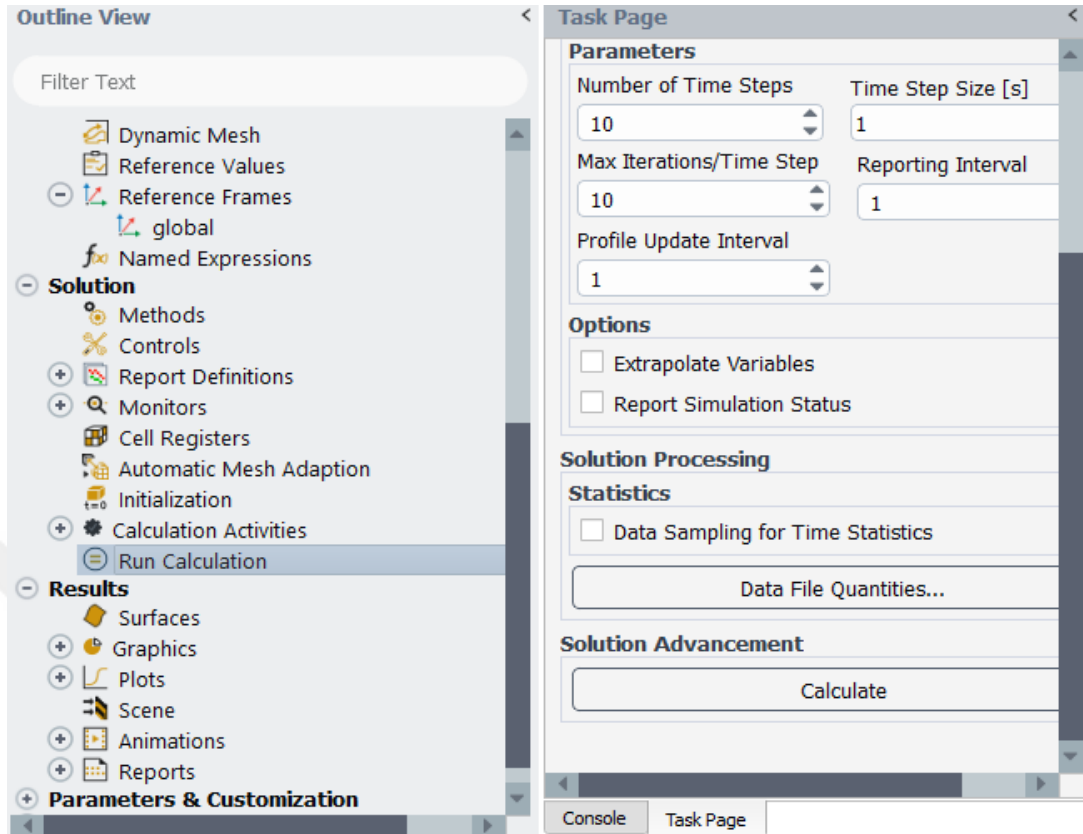
Şekil 2.17. Kabuğun sıcaklık değeri -5°C girilmiştir



Şekil 2.18. Methods Ayarları

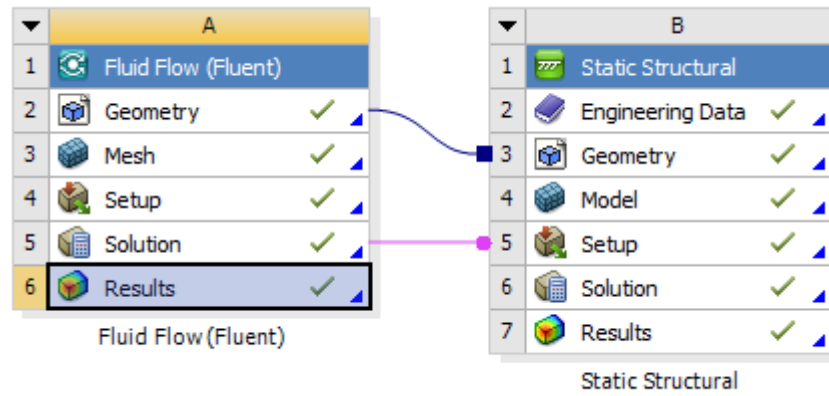


Şekil 2.19. Initalization Ayarları

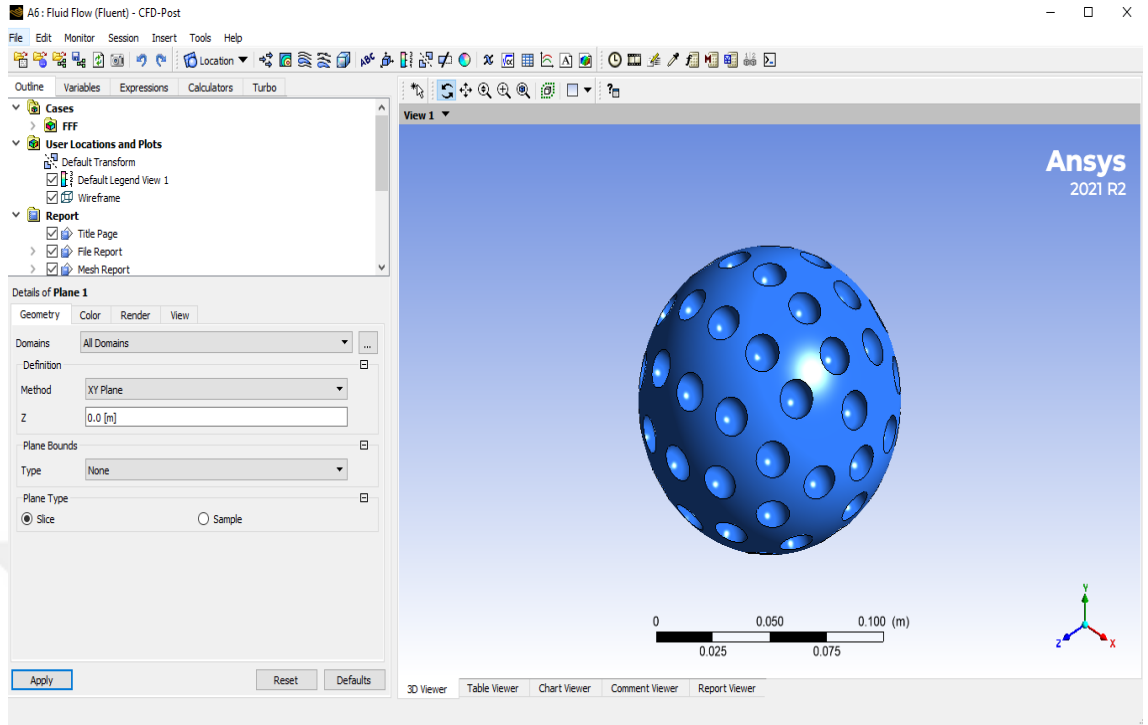


Şekil 2.20. Run Calculation Ayarları

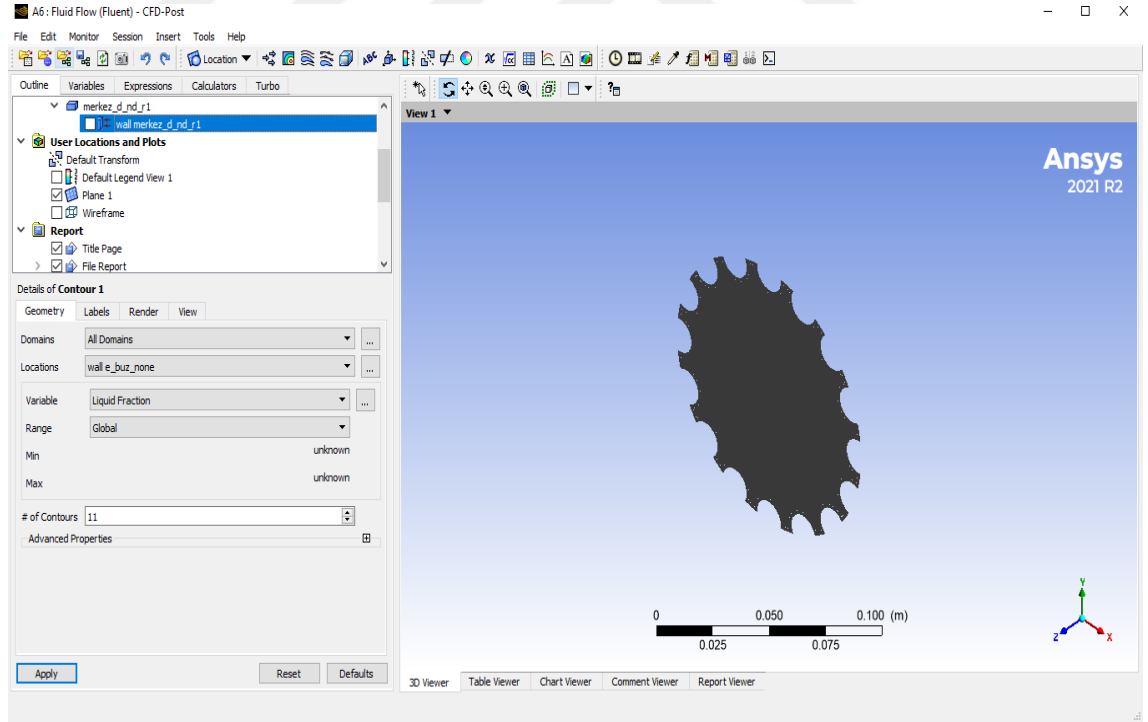
Çalışma şemasında Results ile sonuçlar alınmıştır. Location sekmesine tıklanarak “XY” düzlemi seçilerek yüzey belirlenmiştir. Contour sekmesi tıklanarak sonuçlar elde edilmiştir.



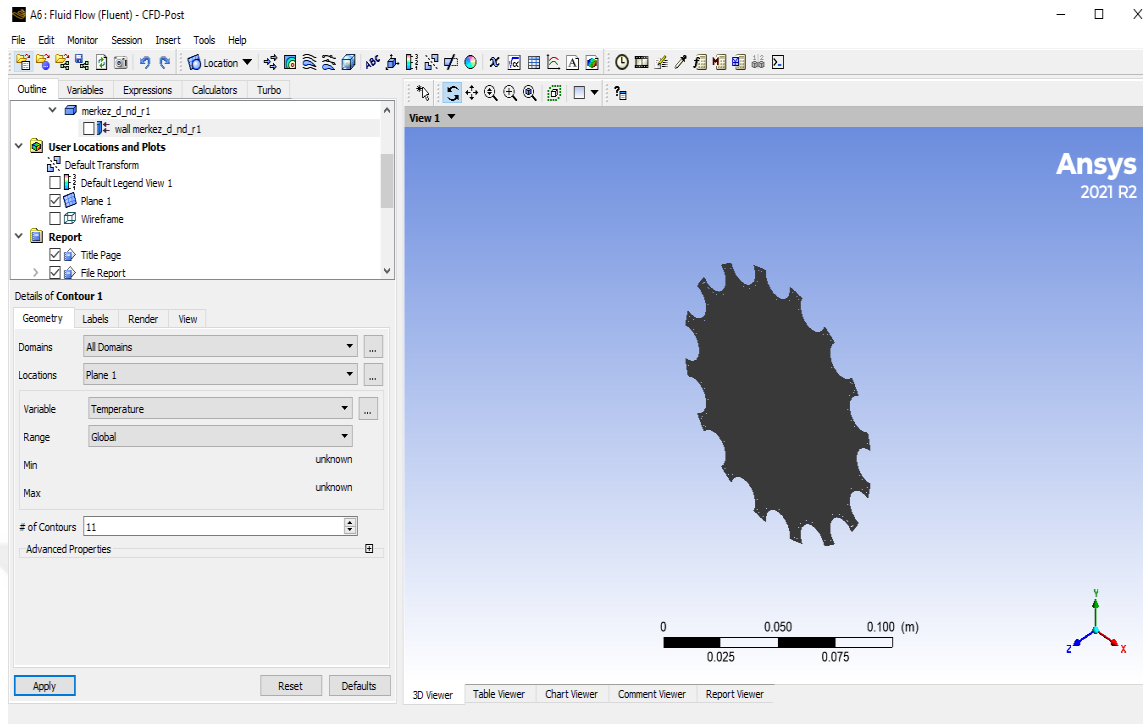
Şekil 2.21. Şemada Results seçilmiştir



Şekil 2.22. XY düzlemi yüzey seçilmiştir.



Şekil 2.23. XY düzlemi yüzey seçilerek Liquid Fraction ile erime kesiti sonucu alınmıştır.



Şekil 2.24. XY düzlemi yüzey seçilerek Temperature ile sıcaklık sonucu alınmıştır.

2.3.3. Static Structural Analiz Ayarlarının Yapılması

Engineering Data ile malzeme özellikleri belirlenmiştir ve Static Structural analizlerinin yapılması için malzeme özellikleri ataması yapılmıştır. Malzeme atamaları yapıldıktan sonra Mesh ayarları yapılmıştır. Connection ile buz kapsülü sabitlenmiştir. Imported Load ile Fluent analizi verileri aktarılmıştır. Solution ile Total Deformation ve Equivalent Elastic Strain analizleri yapılarak çözüm sağlanmıştır.

Outline of Schematic B2: Engineering Data				
	A	B	C	D
1	Contents of Engineering Data			Source
				Description
3	ICE			General_Materials.xml
				Fatigue Data at zero mean stress comes from 1998 ASME BPV Code, Section 8, Div 2, Table 5-110.1

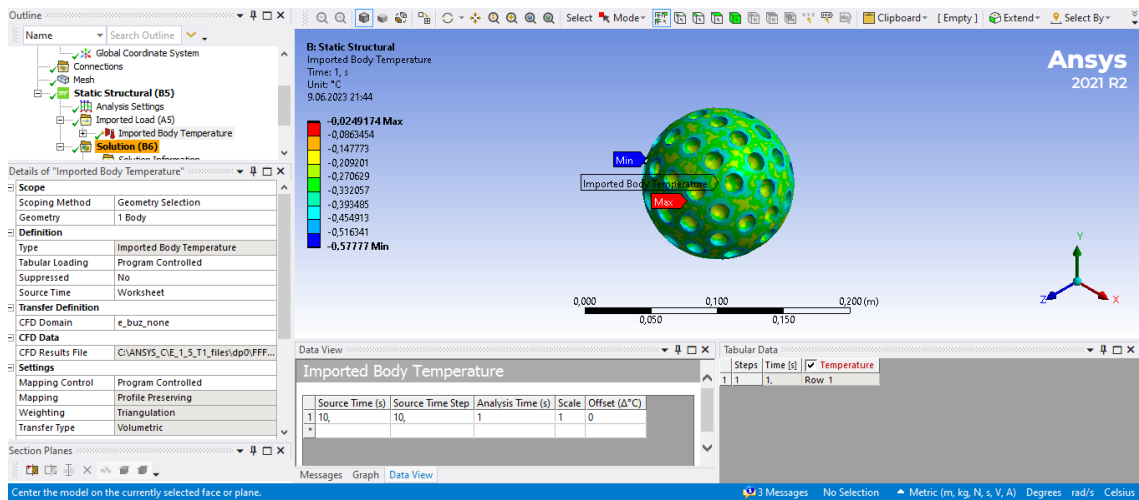
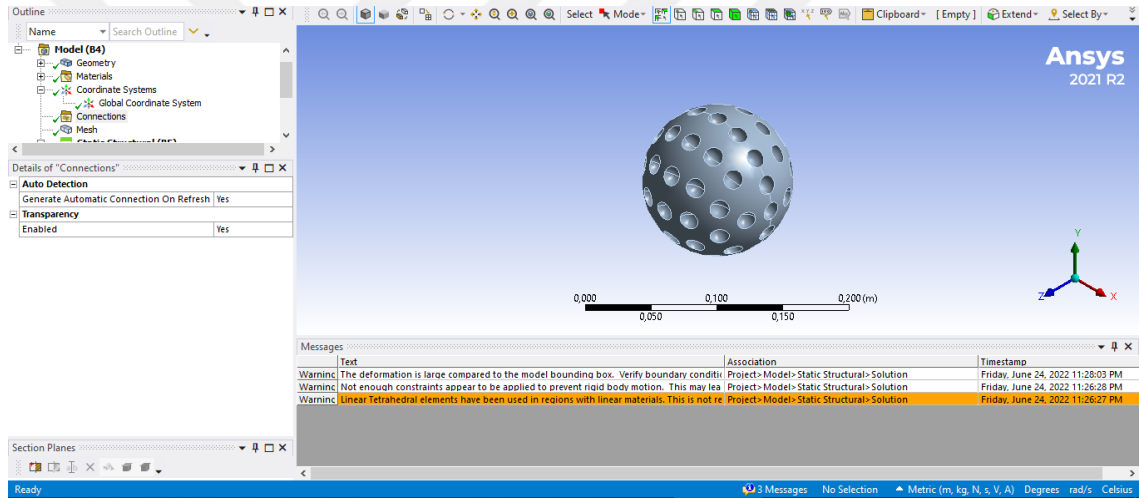
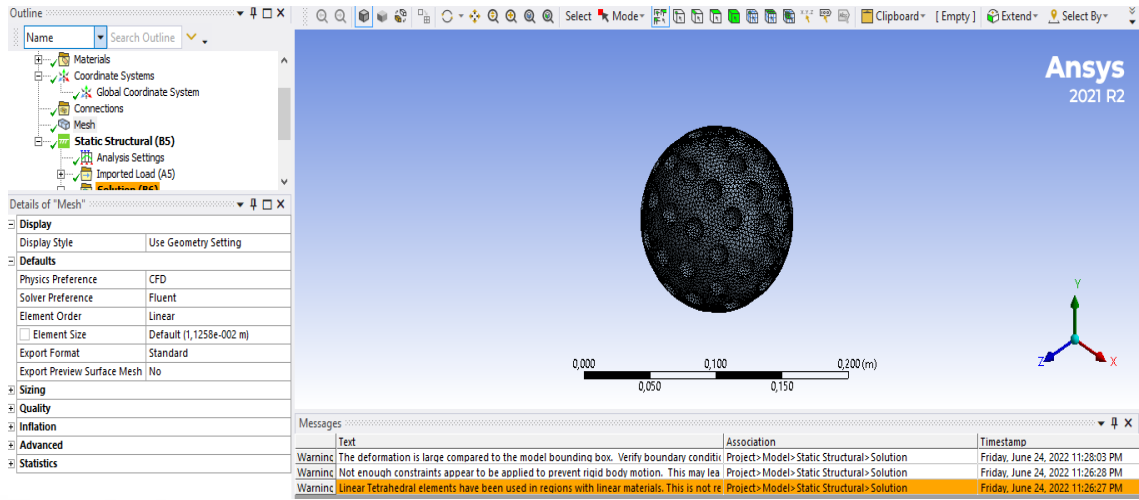
Properties of Outline Row 3: ICE				
	A	B	C	D
1	Property	Value	Unit	
2	Material Field Variables	Table		
3	Density	915	kg m ⁻³	
4	Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion			
5	Coefficient of Thermal Expansion	1,2E-05	C ⁻¹	
6	Melting Temperature	0	C	
7	Isotropic Elasticity			
8	Derive from	Young's Modu...		
9	Young's Modulus	9,1E+09	Pa	
10	Poisson's Ratio	0,33		
11	Bulk Modulus	8,9216E+09	Pa	
12	Shear Modulus	3,4211E+09	Pa	
13	Strain-Life Parameters			
21	S-N Curve	Tabular		
25	Tensile Yield Strength	2,5E+08	Pa	
26	Compressive Yield Strength	2,5E+08	Pa	
27	Tensile Ultimate Strength	4,6E+08	Pa	
28	Compressive Ultimate Strength	0	Pa	

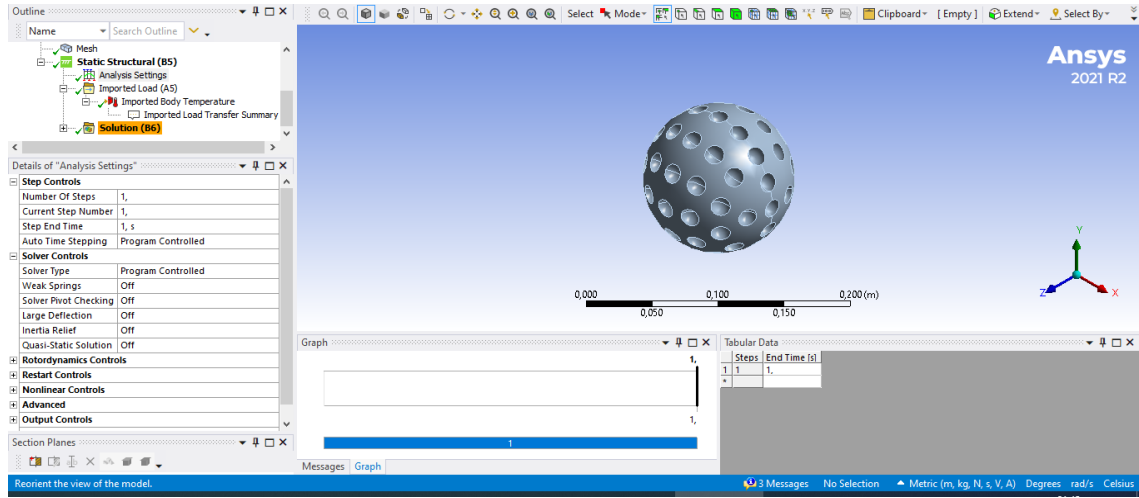
Şekil 2.25. HDPE malzemesinin Static Stucrural analizi için kullanılan malzeme özellikleri

Outline of Schematic B2: Engineering Data				
	A	B	C	D
1	Contents of Engineering Data			Source
				Description
4	Plastic, HDPE			Granta_Design_Typical_Materials.xml
				Data compiled by the Granta Design team at ANSYS, incorporating various sources including TATIM and

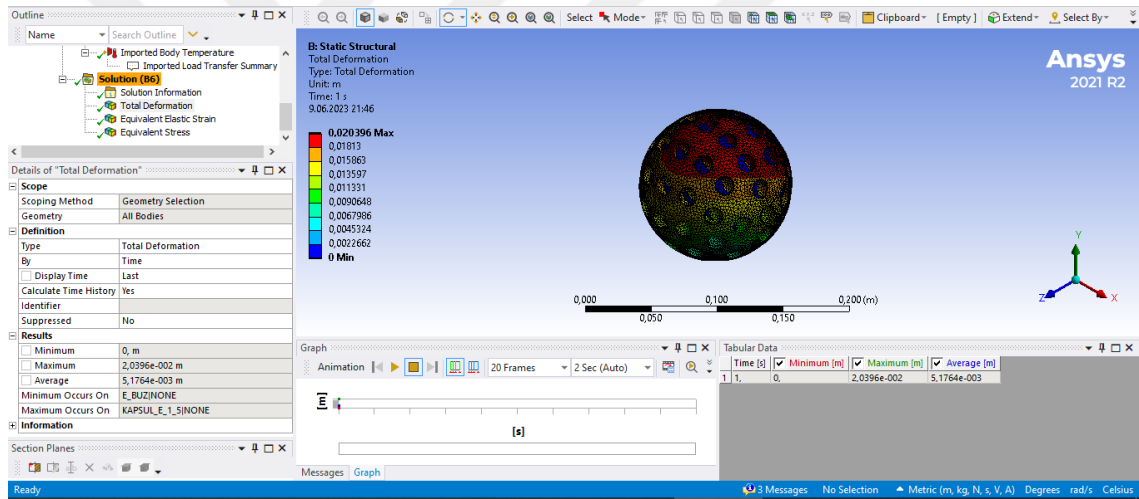
Properties of Outline Row 4: Plastic, HDPE				
	A	B	C	D
1	Property	Value	Unit	
2	Material Field Variables	Table		
3	Density	958,5	kg m ⁻³	
4	Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion			
5	Coefficient of Thermal Expansion	0,000145	C ⁻¹	
6	Isotropic Elasticity			
7	Derive from	Young's Modu...		
8	Young's Modulus	1,08E+09	Pa	
9	Poisson's Ratio	0,4183		
10	Bulk Modulus	2,2032E+09	Pa	
11	Shear Modulus	3,8074E+08	Pa	
12	Tensile Yield Strength	Tabular		
13	Tensile Ultimate Strength	Tabular		

Şekil 2.26. Buz malzemesinin Static Stucrural analizi için kullanılan malzeme özellikleri

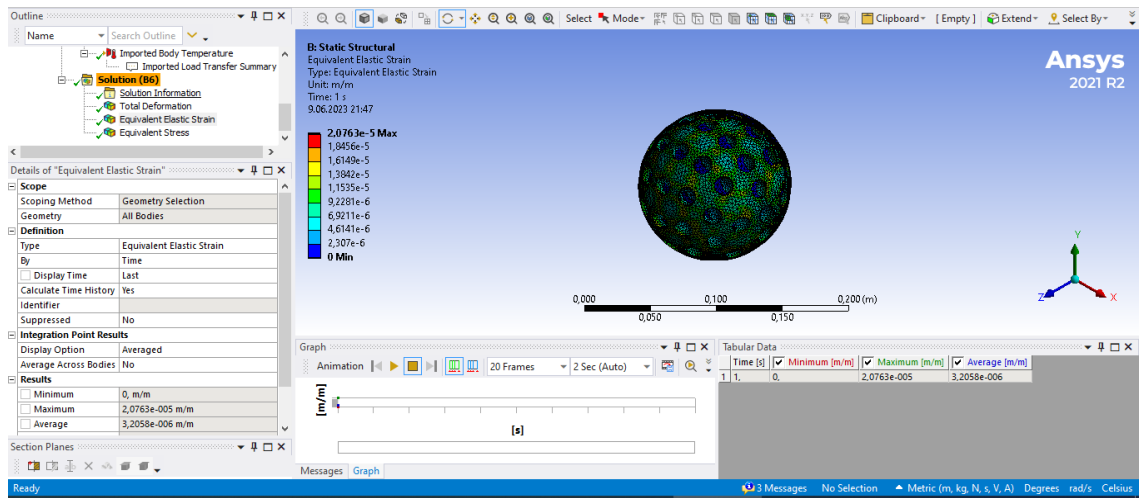




Şekil 2.30. Solution ayarları



Şekil 2.31. Deformasyon analizi



Şekil 2.32. Gerilim analizi

3. BÖLÜM

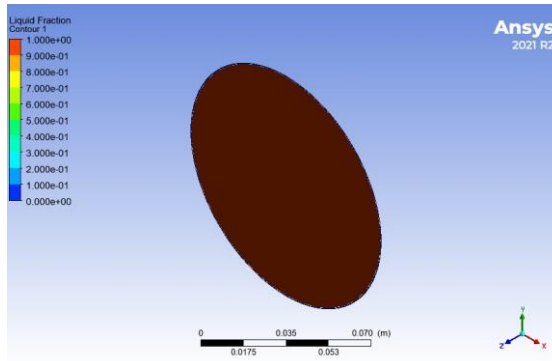
ARAŞTIRMALAR

3.1. Had Analizi Sonuçları

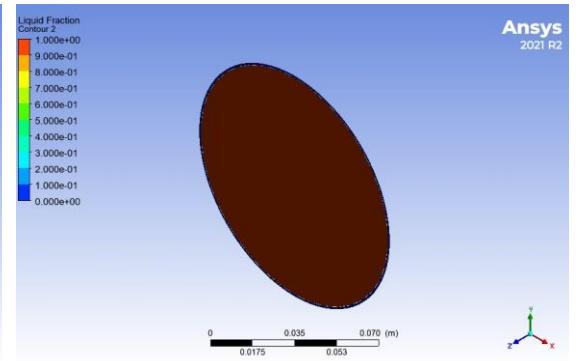
Bu bölümde Ansys programında yapılan çalışmalar sonucunda alınan erime kesiti ve sıcaklık dağılımı incelenmiştir.

3.1.1. A Kapsülü Erime Kesitleri ve Sıcaklık Dağılımı Analiz Karşılaştırmaları

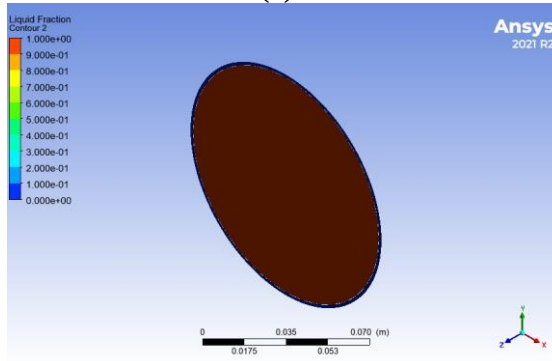
Bu bölümde A kapsüllerinin farklı kalınlıklarda erime kesitleri ve sıcaklık dağılım durumlarının karşılaştırması yapılmıştır.



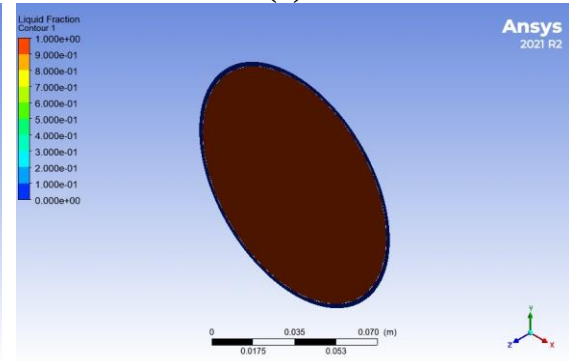
(a)



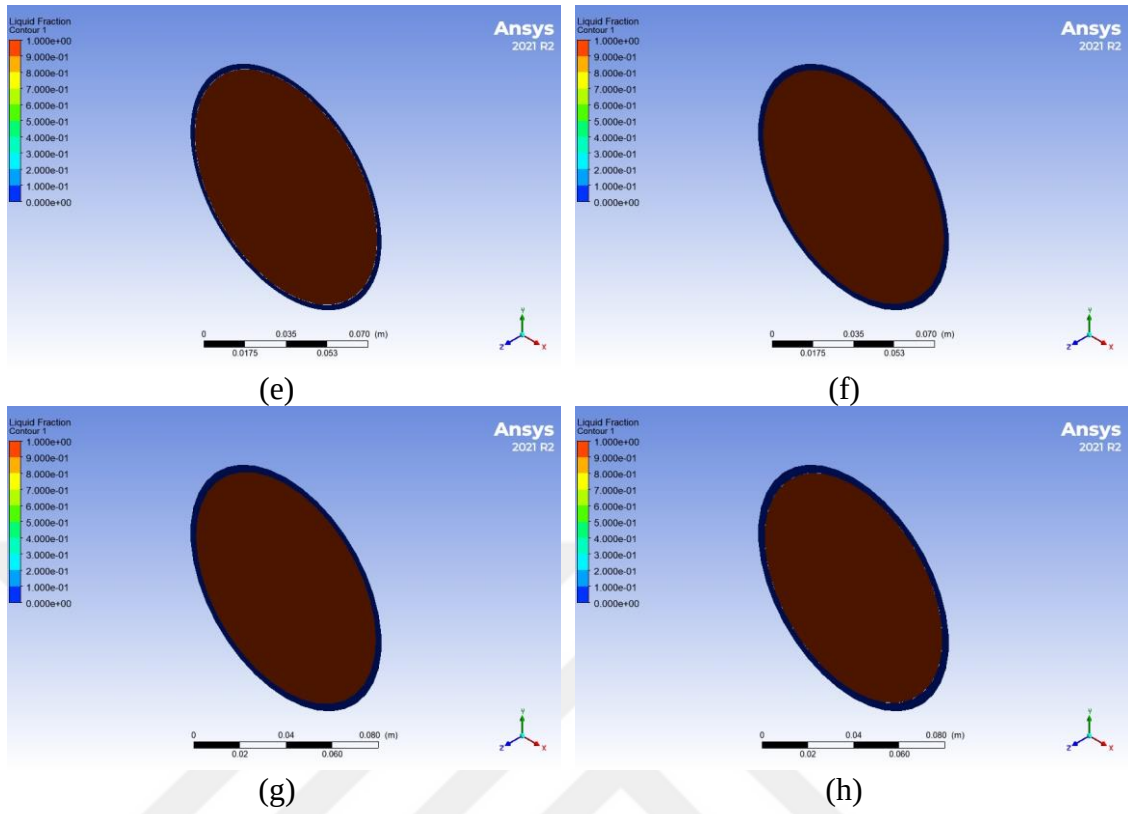
(b)



(c)

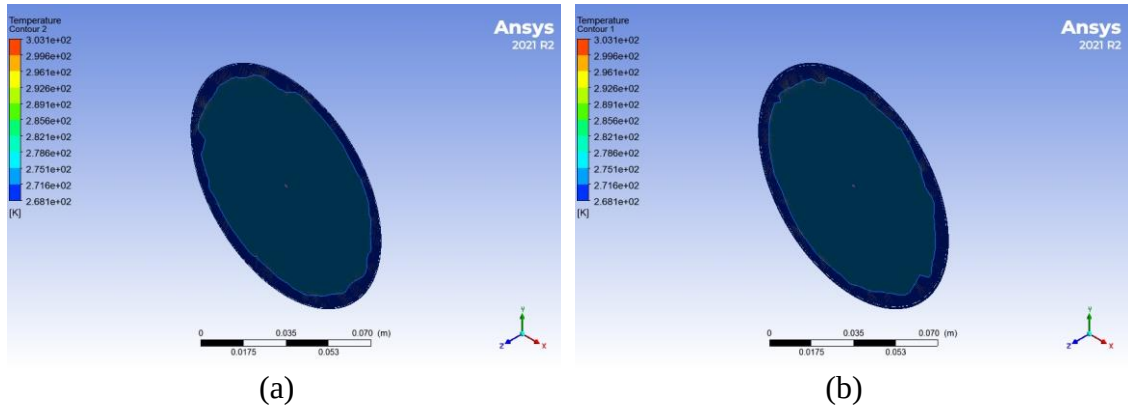


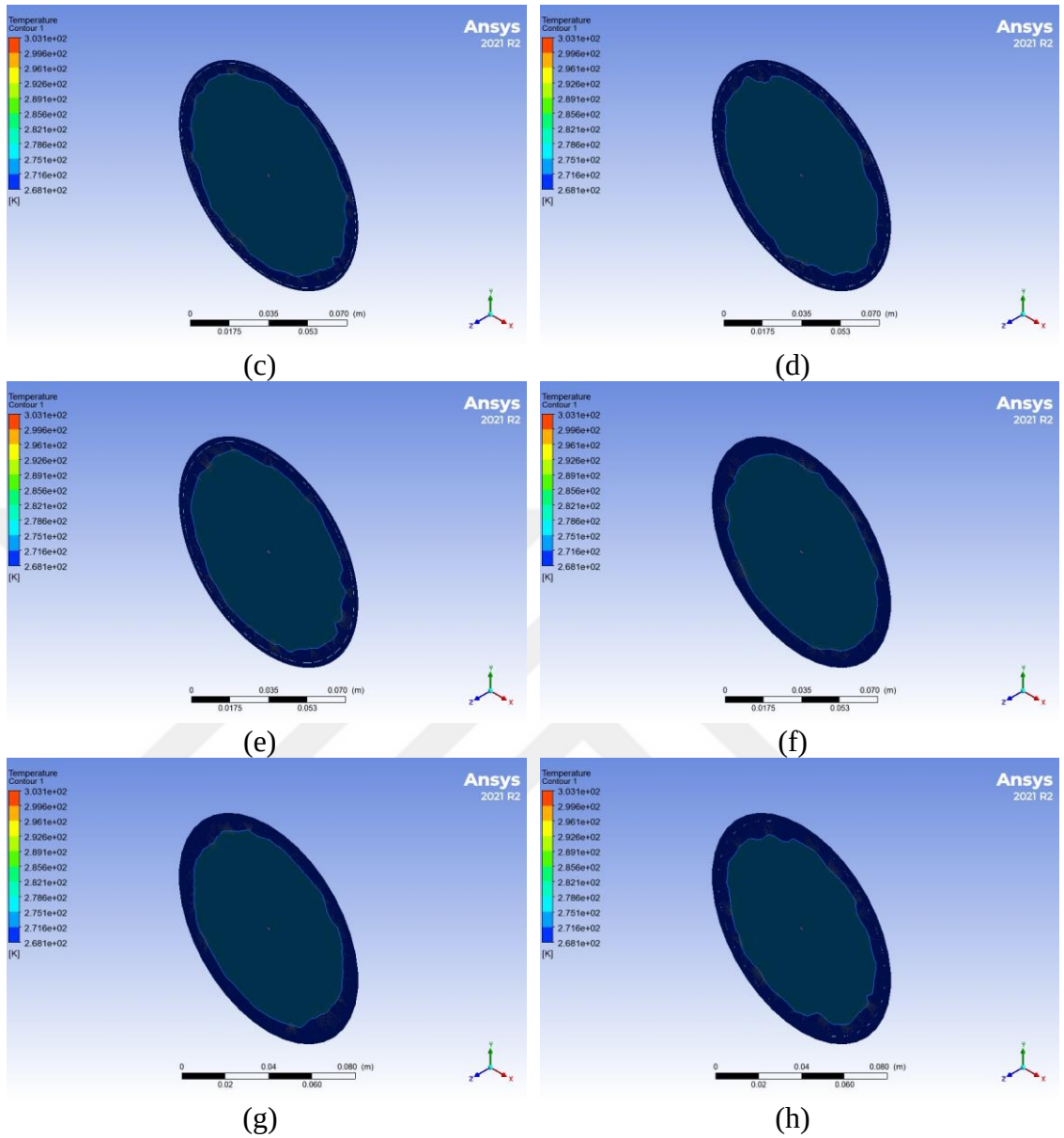
(d)



Şekil 3.1. A Kapsüllerinin farklı kalınlıklardaki erime kesiti karşılaştırması

Şekil 3.1.a'da 0,5mm kapsülde erime yaklaşık 1mm başlamıştır. Şekil 3.1.b'de 1mm kapsülde erime 1,7mm, Şekil 3.1.c'de 1,5mm kapsülde erime 2,5mm, Şekil 3.1.d'de 2mm kapsülde erime 3,5mm, Şekil 3.1.e'de 2,5mm kapsülde erime 4,8mm, Şekil 3.1.f'de 3mm kapsülde erime 5,3mm, Şekil 3.1.g'de 3,5mm kapsülde erime 5,7mm tespit edilmiştir. Kalınlık arttıkça erime sınırı çizgisi de artmıştır. Şekil 3.1.h'de 4mm kapsülde ise yaklaşık 6mm'ye kadar çıkmıştır. Burada kalınlık ile erime sınırının arttığı gözlemlenmiştir.





Şekil 3.2. A Kapsüllerinin farklı kalınlıklardaki sıcaklık dağılımı karşılaştırması a) 0,5mm A kapsülü b) 1mm A kapsülü c) 1,5mm A kapsülü d) 2mm A kapsülü e) 2,5mm A kapsülü f) 3mm A kapsülü g) 3,5mm A kapsülü h) 4mm A kapsülü

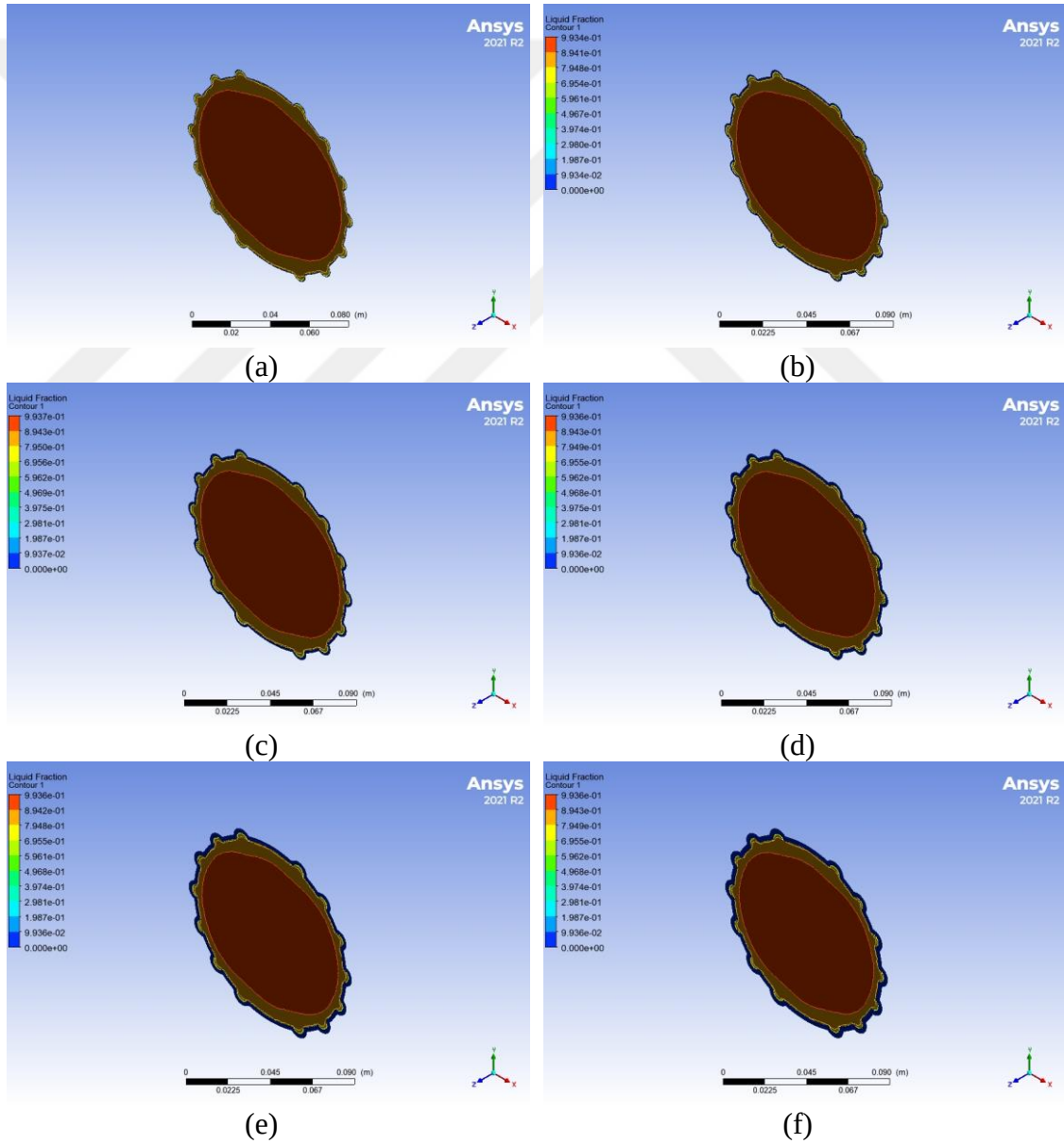
Şekil 3.2.'ye bakarak sıcaklık dağılımını incelediğimizde, Şekil 3.2.a'da 0,5mm kapsülde yaklaşık 5mm cıdarlarda $2,68.10^{-2}$ K arttığı gözlemlenmiştir. Şekil 3.2.b'de 1mm kapsülde yaklaşık 7,8mm cıdarlarda $2,68.10^{-2}$ K arttığı, Şekil 3.2.c'de 1,5mm kapsülde yaklaşık 8,7mm cıdarlarda $2,68.10^{-2}$ K arttığı, Şekil 3.2.d'de 2mm kapsülde yaklaşık 9,3mm cıdarlarda $2,68.10^{-2}$ K arttığı, Şekil 3.2.e'de 2,5mm kapsülde yaklaşık 10,1mm cıdarlarda $2,68.10^{-2}$ K arttığı, Şekil 3.2.f'de 3mm kapsülde yaklaşık 10,9mm cıdarlarda $2,68.10^{-2}$ K arttığı, Şekil 3.2.g'de 3,5mm kapsülde yaklaşık 11,3mm cıdarlarda $2,68.10^{-2}$ K arttığı,

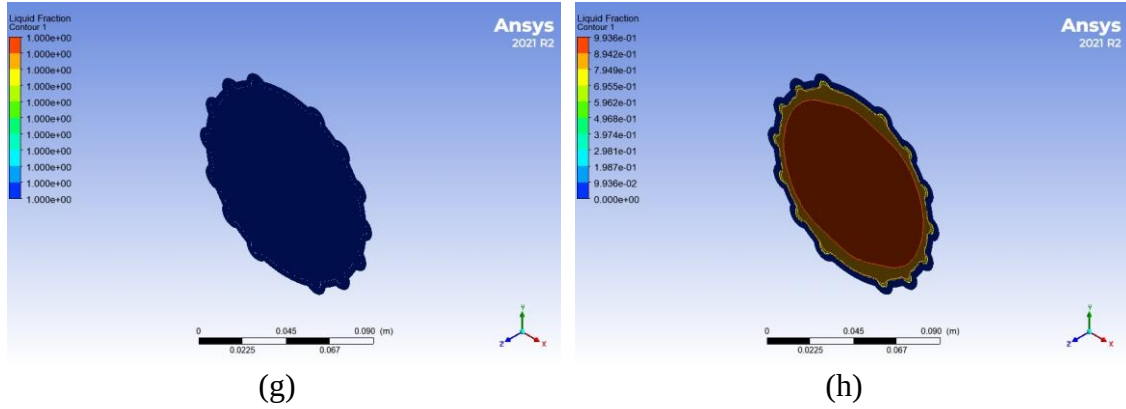
K arttığı tespit edilmiştir. Bu kalınlık artarak Şekil 3.2.h’de 4mm kapsülde 12mm cidarlarda $2,68 \cdot 10^{-2}$ K arttırdığı gözlemlenmiştir.

Şekil 3.1’da verildiği gibi erime kesitleri birbirine yakın sonuçlar verirken, Şekil 3.2’de sıcaklık dağılımı kalınlık arttıkça sıcaklık daha derinlere doğru azaldığı gözlemlenmiştir.

3.1.2. B Kapsülü Erime Kesitleri ve Sıcaklık Dağılımı Analiz Karşılaştırmaları

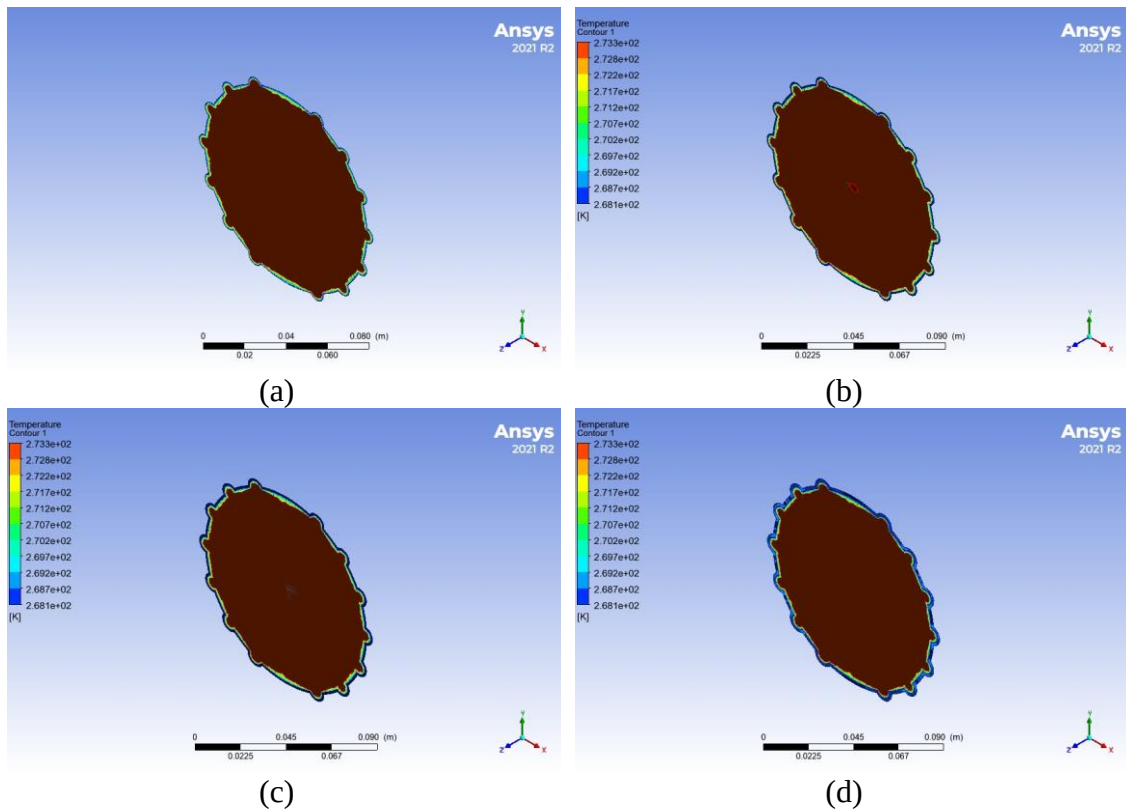
Bu bölümde B kapsüllerinin farklı kalınlıklarda erime kesitleri ve sıcaklık dağılım durumlarının karşılaştırması yapılmıştır.

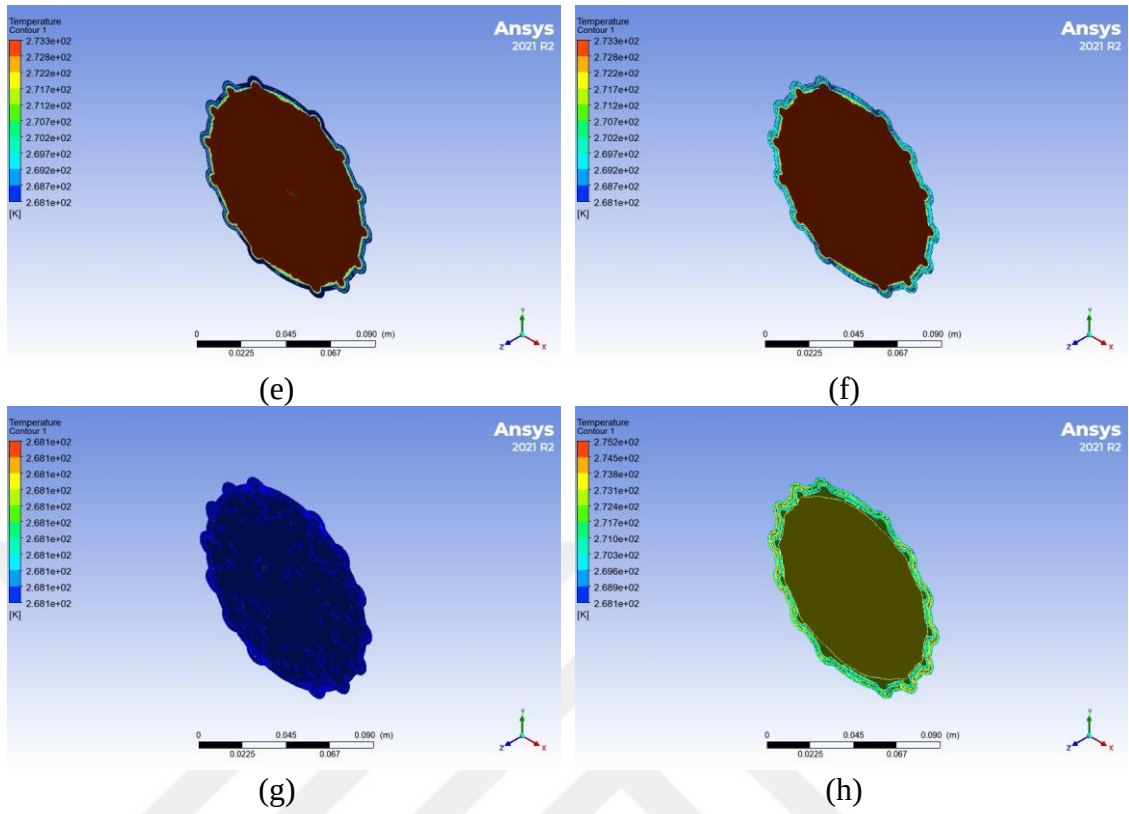




Şekil 3.3. B Kapsüllerinin farklı kalınlıklardaki erime kesiti karşılaştırması a) 0,5mm B kapsülü b) 1mm B kapsülü c) 1,5mm B kapsülü d) 2mm B kapsülü e) 2,5mm B kapsülü f) 3mm B kapsülü g) 3,5mm B kapsülü h) 4mm B kapsülü

Şekil 3.3.a'da 0,5mm kapsülde yaklaşık 0,1mm başlamıştır. Şekil 3.3.b'de 1mm kapsülde erime 0,4mm, Şekil 3.3.c'de 1,5mm kapsülde erime 1,5mm, Şekil 3.3.d'de 2mm kapsülde erime 2,8mm, Şekil 3.3.e'de 2,5mm kapsülde erime 3,3mm, Şekil 3.3.f'de 3mm kapsülde erime 3,7mm, Şekil 3.3.g'de 3,5mm kapsülde erime 4,3mm tespit edilmiştir. Kalınlık arttıkça erime sınırı çizgisi de artmıştır. Şekil 3.3.h'de 4mm kapsülde ise yaklaşık 5mm'ye kadar çıkmıştır. Burada kalınlık ile erime sınırının arttığı gözlemlenmiştir.





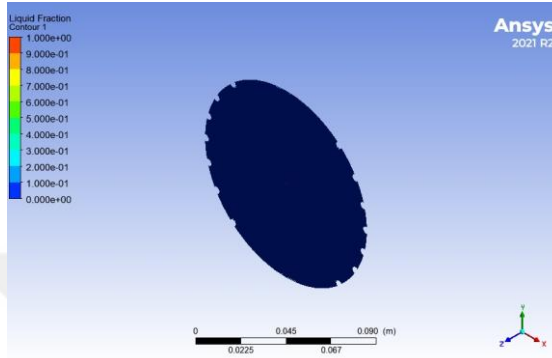
Şekil 3.4. B Kapsüllerinin farklı kalınlıklardaki sıcaklık dağılımı karşılaştırması a) 0,5mm B kapsülü b) 1mm B kapsülü c) 1,5mm B kapsülü d) 2mm B kapsülü e) 2,5mm B kapsülü f) 3mm B kapsülü g) 3,5mm B kapsülü h) 4mm B kapsülü

Şekil 3.4.'ye bakarak sıcaklık dağılımını incelediğimizde, Şekil 3.4.a'da 0,5mm kapsülde yaklaşık 0,1mm cidarlarda $2,68.10^{-2}$ K arttığı gözlemlenmiştir. Şekil 3.4.b'de 1mm kapsülde yaklaşık 0,5mm cidarlarda $2,681.10^{-2}$ K arttığı, Şekil 3.4.c'de 1,5mm kapsülde yaklaşık 1,7mm cidarlarda $2,681.10^{-2}$ K arttığı, Şekil 3.4.d'de 2mm kapsülde yaklaşık 3mm cidarlarda $2,681.10^{-2}$ K arttığı, Şekil 3.4.e'de 2,5mm kapsülde yaklaşık 3,5mm cidarlarda $2,681.10^{-2}$ K arttığı, Şekil 3.4.f'de 3mm kapsülde yaklaşık 4mm cidarlarda $2,681.10^{-2}$ K arttığı, Şekil 3.4.g'de 3,5mm kapsülde yaklaşık 4,5mm cidarlarda $2,681.10^{-2}$ K arttığı tespit edilmiştir. Bu kalınlık artarak Şekil 3.4.h'de 4mm kapsülde 5mm cidarlarda $2,681.10^{-2}$ K artırdığı gözlemlenmiştir.

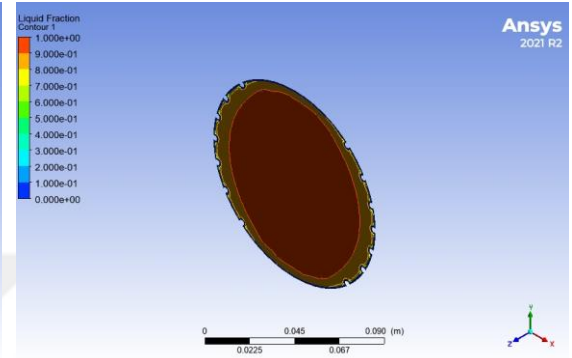
Şekil 3.3'te verildiği gibi erime kesitleri birbirine yakın sonuçlar verirken, Şekil 3.4'te sıcaklık dağılımı kalınlık arttıkça sıcaklık daha derinlere doğru azaldığı gözlemlenmiştir.

3.1.3. C Kapsülü Erime Kesitleri ve Sıcaklık Dağılımı Analiz Karşılaştırmaları

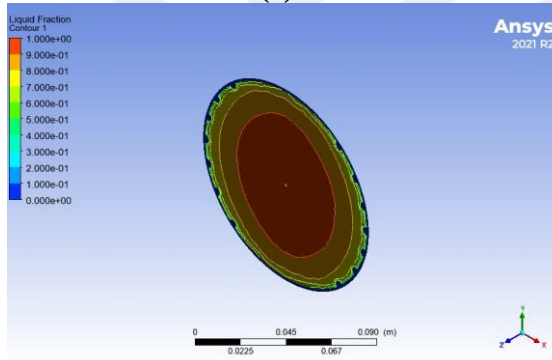
Bu bölümde C kapsüllerinin farklı kalınlıklarda erime kesitleri ve sıcaklık dağılım durumlarının karşılaştırması yapılmıştır.



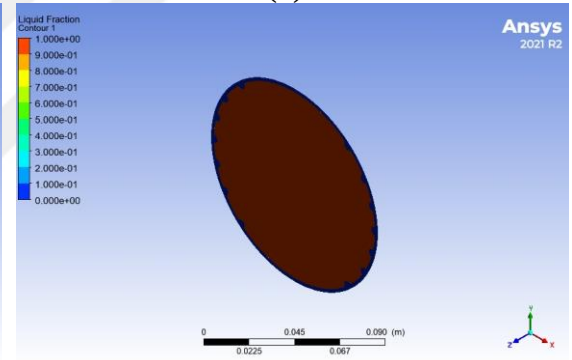
(a)



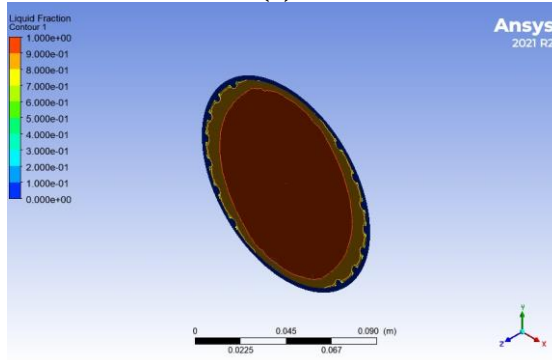
(b)



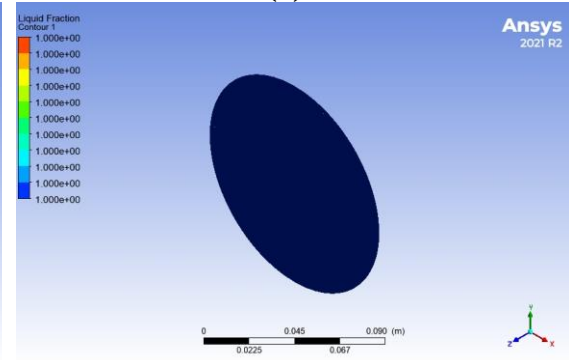
(c)



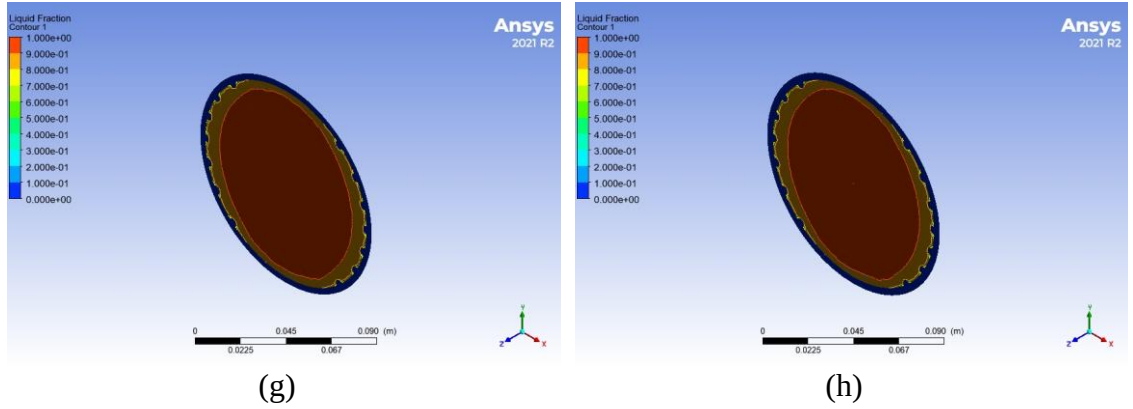
(d)



(e)

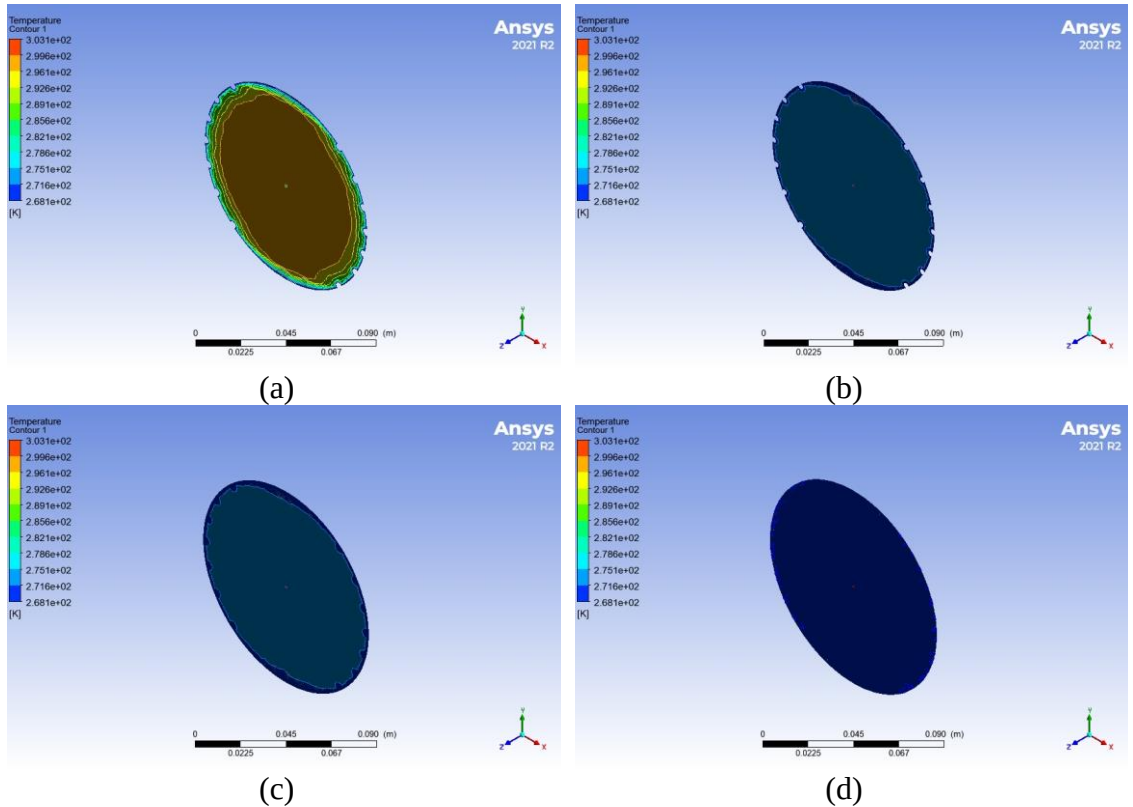


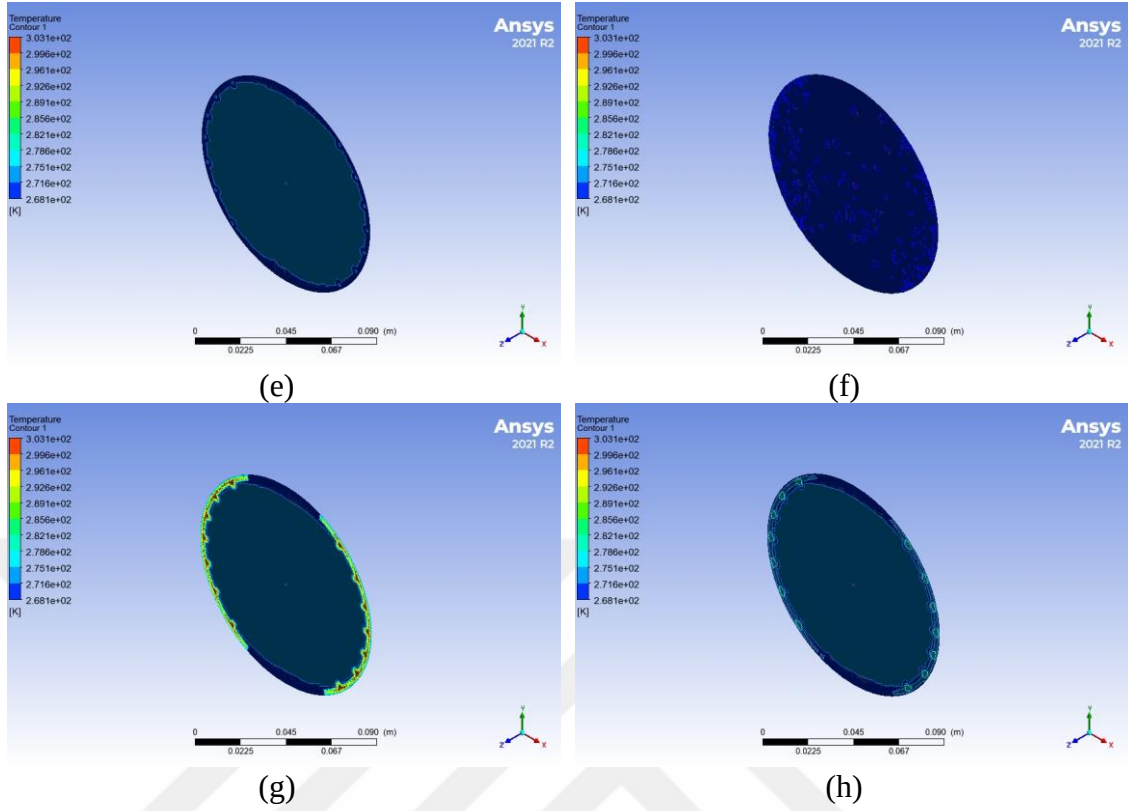
(f)



Şekil 3.5. C Kapsüllerinin farklı kalınlıklardaki erime kesiti karşılaştırması a) 0,5mm C kapsülü b) 1mm C kapsülü c) 1,5mm C kapsülü d) 2mm C kapsülü e) 2,5mm C kapsülü f) 3mm C kapsülü g) 3,5mm C kapsülü h) 4mm C kapsülü

Şekil 3.5.a’da 0,5mm kapsülde yaklaşık 0,5mm başlamıştır. Şekil 3.5.b’de 1mm kapsülde erime 2,1mm, Şekil 3.5.c’de 1,5mm kapsülde erime 4,1mm, Şekil 3.5.d’de 2mm kapsülde erime 5,4mm, Şekil 3.5.e’de 2,5mm kapsülde erime 6,7mm, Şekil 3.5. f’de 3mm kapsülde erime 7,9mm, Şekil 3.5.g’de 3,5mm kapsülde erime 9,1mm tespit edilmiştir. Kalınlık arttıkça erime sınırı çizgisi de artmıştır. Şekil 3.5.h’de 4mm kapsülde ise yaklaşık 10mm’ye kadar çıkmıştır. Burada kalınlık ile erime sınırının arttığı gözlemlenmiştir.





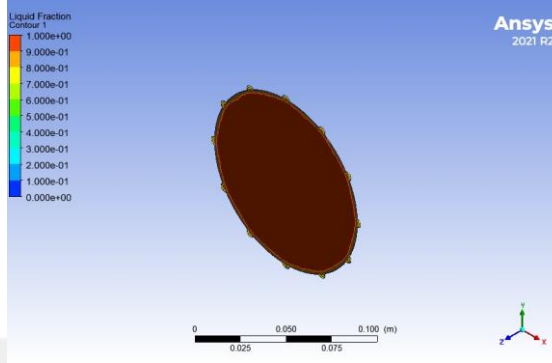
Şekil 3.6. C Kapsüllerinin farklı kalınlıklardaki sıcaklık dağılımı karşılaştırması a) 0,5mm C kapsülü b) 1mm C kapsülü c) 1,5mm C kapsülü d) 2mm C kapsülü e) 2,5mm C kapsülü f) 3mm C kapsülü g) 3,5mm C kapsülü h) 4mm C kapsülü

Şekil 3.6.'ya bakarak sıcaklık dağılımını incelediğimizde, Şekil 3.6.a'da 0,5mm kapsülde yaklaşık 0,5mm cidarlarda $2,681.10^{-2}$ K arttığı gözlemlenmiştir. Şekil 3.6.b'de 1mm kapsülde yaklaşık 2mm cidarlarda $2,681.10^{-2}$ K arttığı, Şekil 3.6.c'de 1,5mm kapsülde yaklaşık 3,5mm cidarlarda $2,681.10^{-2}$ K arttığı, Şekil 3.6.d'de 2mm kapsülde yaklaşık 5mm cidarlarda $2,681.10^{-2}$ K arttığı, Şekil 3.6.e'de 2,5mm kapsülde yaklaşık 4,5mm cidarlarda $2,681.10^{-2}$ K arttığı, Şekil 3.6.f'de 3mm kapsülde yaklaşık 6mm cidarlarda $2,681.10^{-2}$ K arttığı, Şekil 3.6.g'de 3,5mm kapsülde yaklaşık 3mm cidarlarda $2,681.10^{-2}$ K arttığı tespit edilmiştir. Bu kalınlık artarak Şekil 3.6.h'de 4mm kapsülde 5mm cidarlarda $2,681.10^{-2}$ K arttırdığı gözlemlenmiştir. Değerleri incelediğimizde önce artan sonra azalan sonra artıp sabitlenen trendde olduğu gözlemlenmiştir.

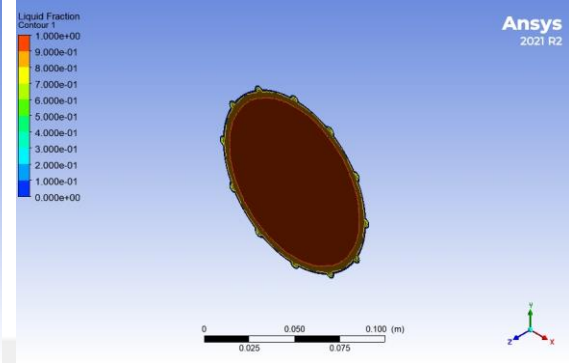
Şekil 3.5'te verildiği gibi erime kesitleri birbirine yakın sonuçlar verirken, Şekil 3.6'da sıcaklık dağılımı kalınlık arttıkça sıcaklık derinliklerini incelediğimizde önce artan sonra azalan sonra sabitlenen trendde azaldığı gözlemlenmiştir.

3.1.4. D Kapsülü Erime Kesitleri ve Sıcaklık Dağılımı Analiz Karşılaştırmaları

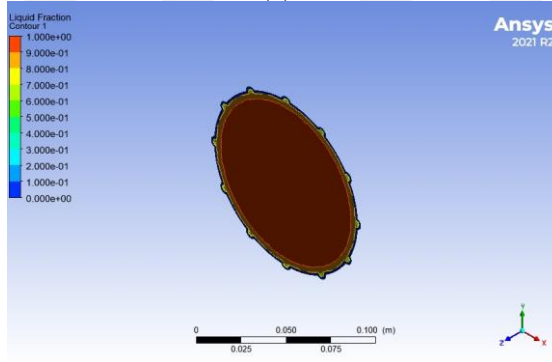
Bu bölümde D kapsüllerinin farklı kalınlıklarda erime kesitleri ve sıcaklık dağılım durumlarının karşılaştırması yapılmıştır.



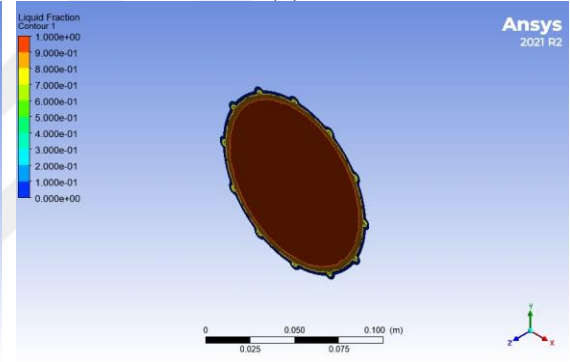
(a)



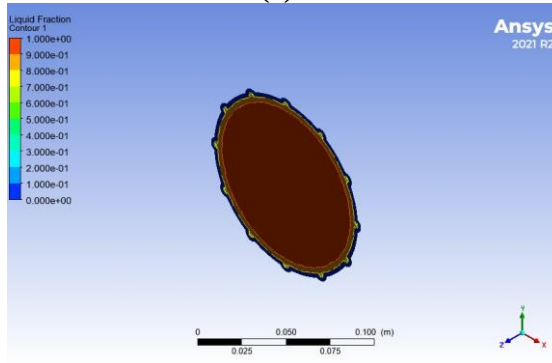
(b)



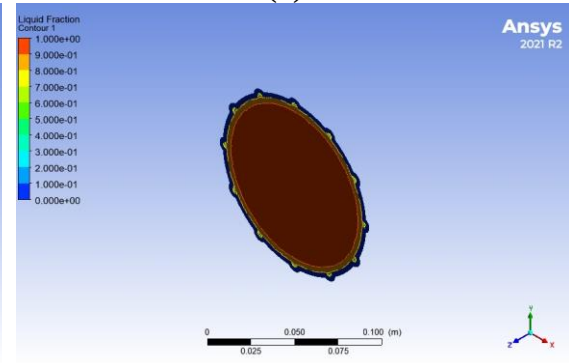
(c)



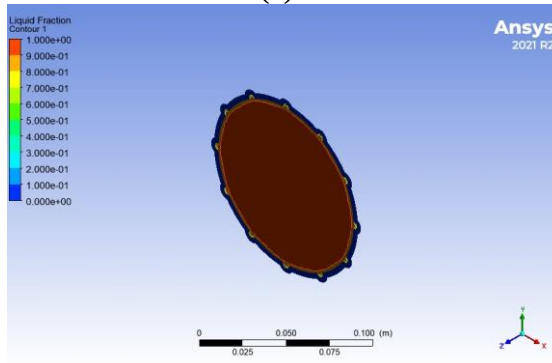
(d)



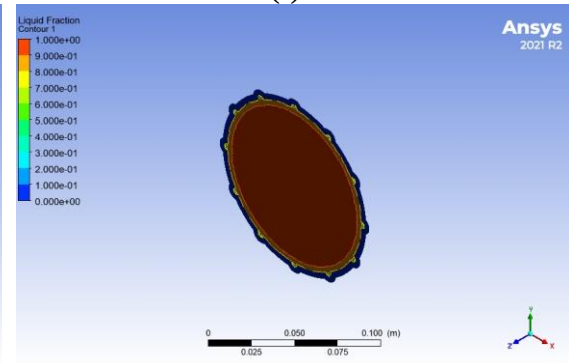
(e)



(f)



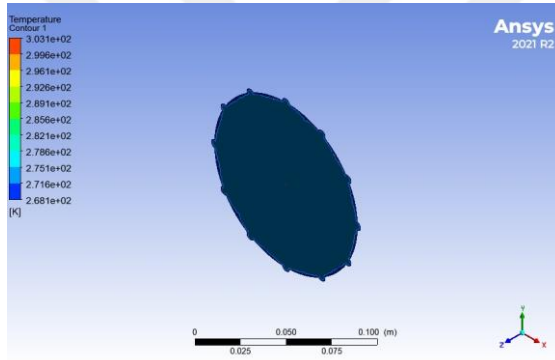
(g)



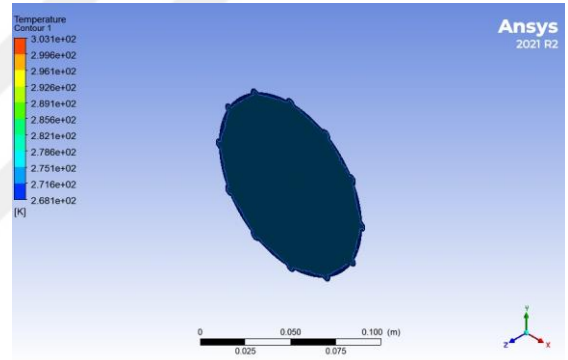
(h)

Şekil 3.7. D Kapsüllerinin farklı kalınlıklardaki erime kesiti karşılaştırması a) 0,5mm D kapsülü b) 1mm D kapsülü c) 1,5mm D kapsülü d) 2mm D kapsülü e) 2,5mm D kapsülü f) 3mm D kapsülü g) 3,5mm D kapsülü h) 4mm D kapsülü

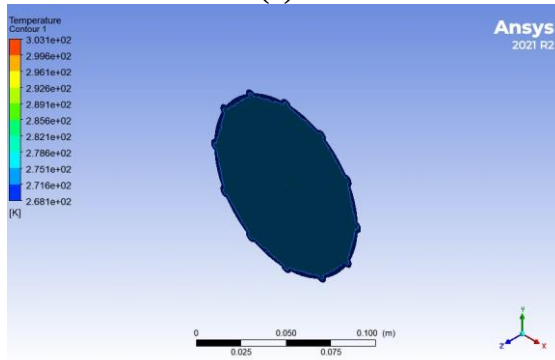
Şekil 3.7.a'da 0,5mm kapsülde yaklaşık 0,2mm başlamıştır. Şekil 3.7.b'de 1mm kapsülde erime 1,3mm, Şekil 3.7.c'de 1,5mm kapsülde erime 3,4mm, Şekil 3.7.d'de 2mm kapsülde erime 5,2mm, Şekil 3.5.e'de 2,5mm kapsülde erime 6,5mm, Şekil 3.7. f'de 3mm kapsülde erime 7,7mm, Şekil 3.7.g'de 3,5mm kapsülde erime 8,9mm tespit edilmiştir. Kalınlık arttıkça erime sınırı çizgisi de artmıştır. Şekil 3.7.h'de 4mm kapsülde ise yaklaşık 10mm'ye kadar çıkmıştır. Burada kalınlık ile erime sınırının arttığı gözlemlenmiştir.



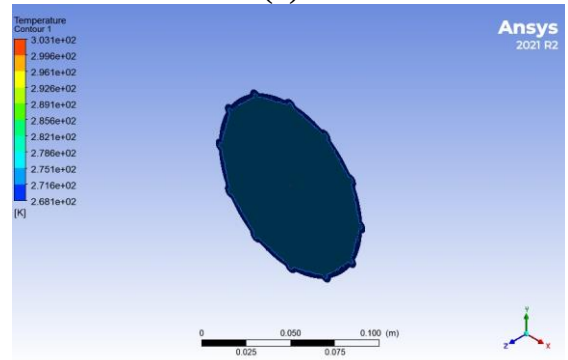
(a)



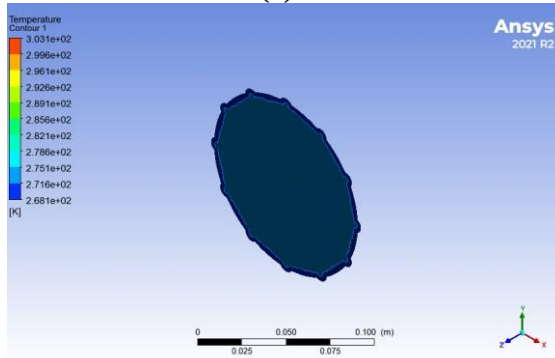
(b)



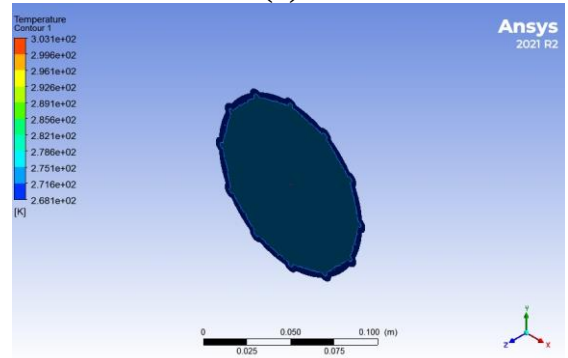
(c)



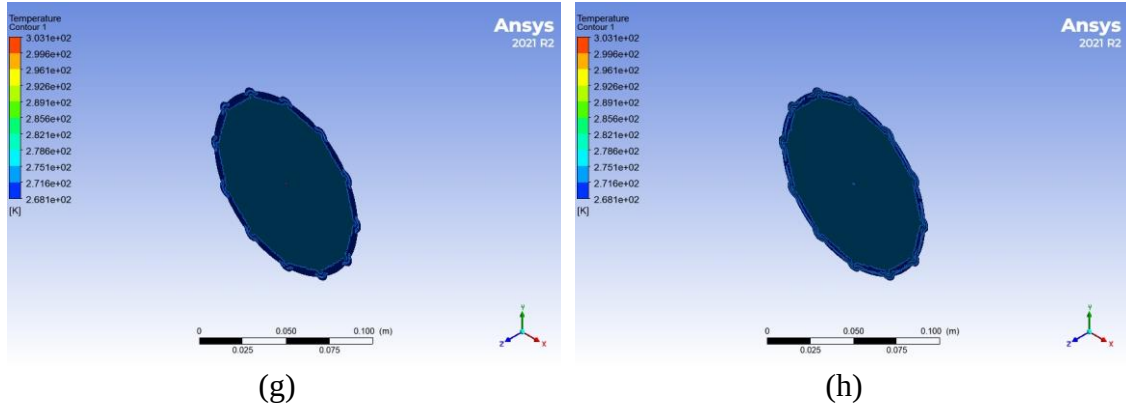
(d)



(e)



(f)



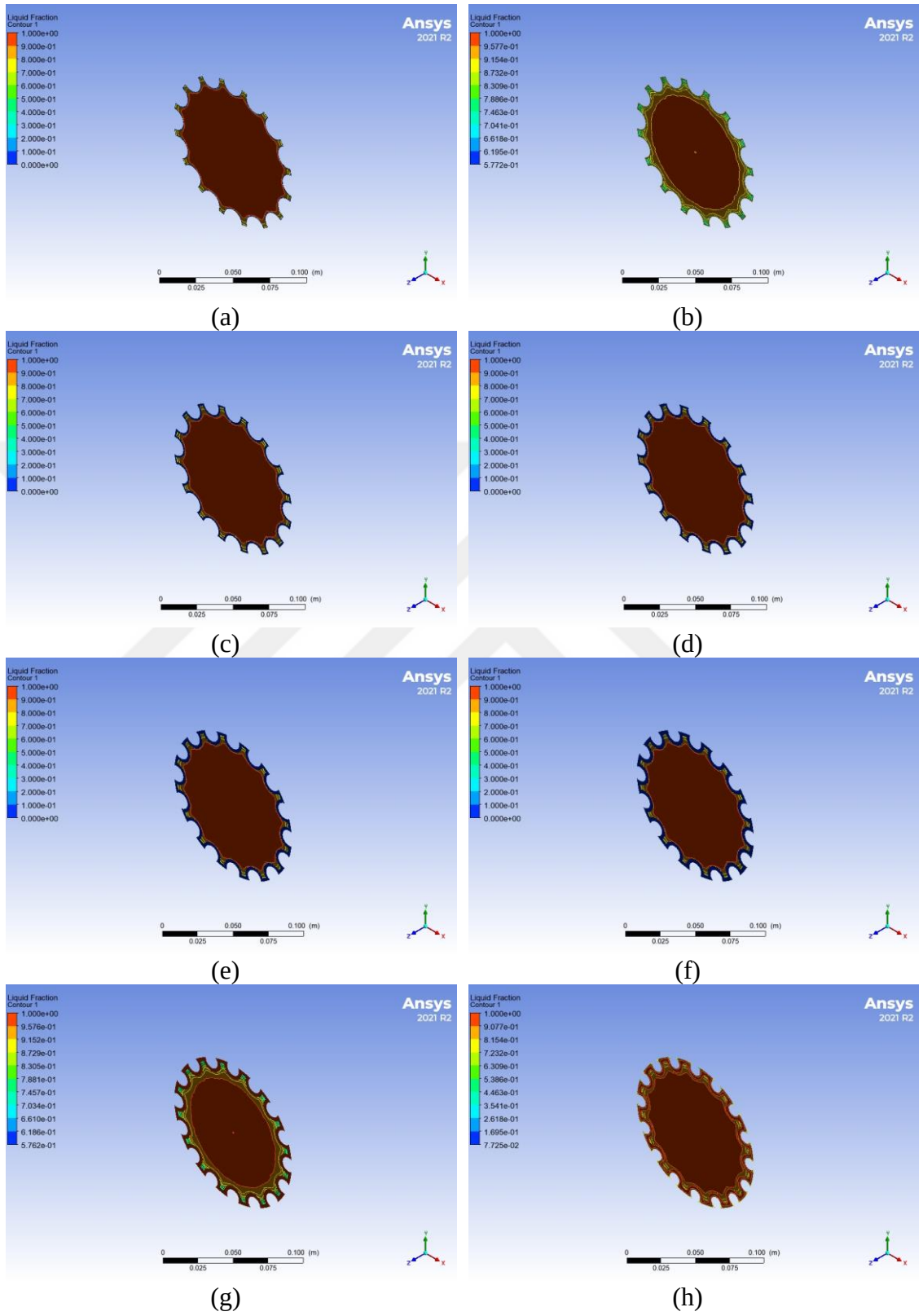
Şekil 3.8. D Kapsüllerinin farklı kalınlıklardaki sıcaklık dağılımı karşılaştırması a) 0,5mm D kapsülü b) 1mm D kapsülü c) 1,5mm D kapsülü d) 2mm D kapsülü e) 2,5mm D kapsülü f) 3mm D kapsülü g) 3,5mm D kapsülü h) 4mm D kapsülü

Şekil 3.8.'ya bakarak sıcaklık dağılımını incelediğimizde, Şekil 3.8.a'da 0,5mm kapsülde yaklaşık 2mm cidarlarda $2,68.10^{-2}$ K arttığı gözlemlenmiştir. Şekil 3.8.b'de 1mm kapsülde yaklaşık 2,3mm cidarlarda $2,681.10^{-2}$ K arttığı, Şekil 3.8.c'de 1,5mm kapsülde yaklaşık 2,5mm cidarlarda $2,681.10^{-2}$ K arttığı, Şekil 3.8.d'de 2mm kapsülde yaklaşık 2,9mm cidarlarda $2,681.10^{-2}$ K arttığı, Şekil 3.8.e'de 2,5mm kapsülde yaklaşık 4,5mm cidarlarda $2,681.10^{-2}$ K arttığı, Şekil 3.8.f'de 3mm kapsülde yaklaşık 6mm cidarlarda $2,681.10^{-2}$ K arttığı, Şekil 3.8.g'de 3,5mm kapsülde yaklaşık 5mm cidarlarda $2,681.10^{-2}$ K arttığı tespit edilmiştir. Bu kalınlık artarak Şekil 3.8.h'de 4mm kapsülde 5mm cidarlarda $2,681.10^{-2}$ K arttırdığı gözlemlenmiştir. Değerleri incelediğimizde önce artan 0,5mm, 1mm, 1,5mm, 2mm, 2,5mm ve 3mm kapsüllerde önce artan ama az oranda artan 3,5mm ve 4mm kapsülde ise artış hız artan şeklinde artış gözlemlenmiştir.

Şekil 3.7'de verildiği gibi erime kesitleri birbirine yakın sonuçlar verirken, Şekil 3.8'de sıcaklık dağılımı kalınlık arttıkça sıcaklık derinliklere göz attığımız zaman önce artan sonra azalan sonra sabitlenen trendde azaldığı gözlemlenmiştir.

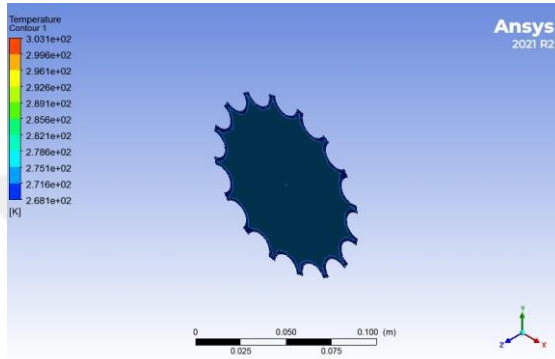
3.1.5. E Kapsülü Erime Kesitleri ve Sıcaklık Dağılımı Analiz Karşılaştırmaları

Bu bölümde E kapsüllerinin farklı kalınlıklarda erime kesitleri ve sıcaklık dağılım durumlarının karşılaştırması yapılmıştır.

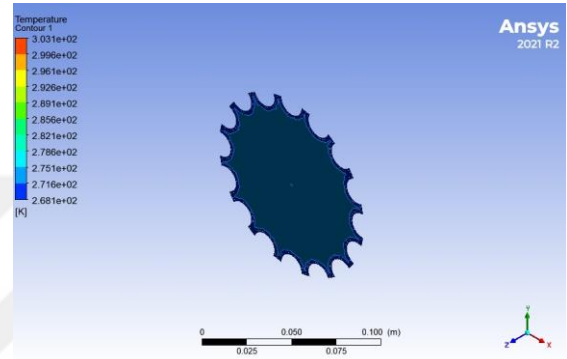


Şekil 3.9. E Kapsüllerinin farklı kalınlıklardaki erime kesiti karşılaştırması a) 0,5mm E kapsülü b) 1mm E kapsülü c) 1,5mm E kapsülü d) 2mm E kapsülü e) 2,5mm E kapsülü f) 3mm E kapsülü g) 3,5mm E kapsülü h) 4mm E kapsülü

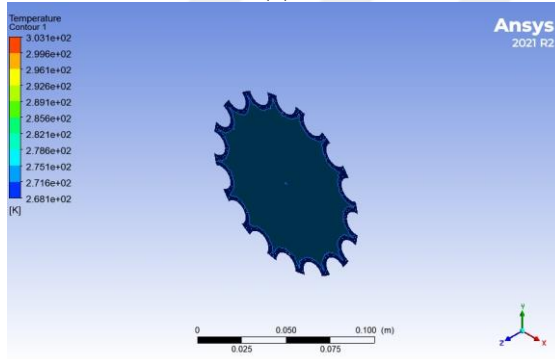
Şekil 3.9.a’da 0,5mm kapsülde yaklaşık 0,5mm başlamıştır. Şekil 3.9.b’de 1mm kapsülde erime 1mm, Şekil 3.9.c’de 1,5mm kapsülde erime 2mm, Şekil 3.9.d’de 2mm kapsülde erime 2mm, Şekil 3.9.e’de 2,5mm kapsülde erime 2,5mm, Şekil 3.9. f’de 3mm kapsülde erime 3,3mm, Şekil 3.9.g’de 3,5mm kapsülde erime 4,3mm tespit edilmiştir. Şekil 3.9.h’de 4mm kapsülde ise yaklaşık 3mm’ye kadar çıkmıştır. Burada kalınlık ile erime sınırının önce arttığı sonra azaldığı gözlemlenmiştir.



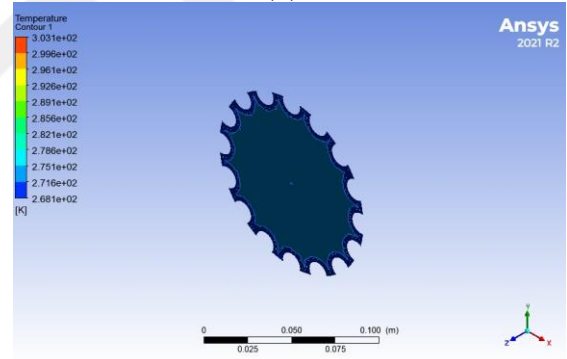
(a)



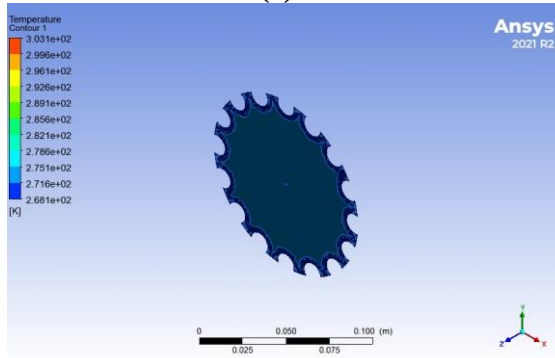
(b)



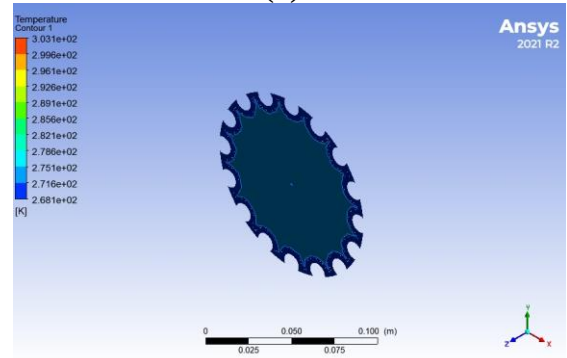
(c)



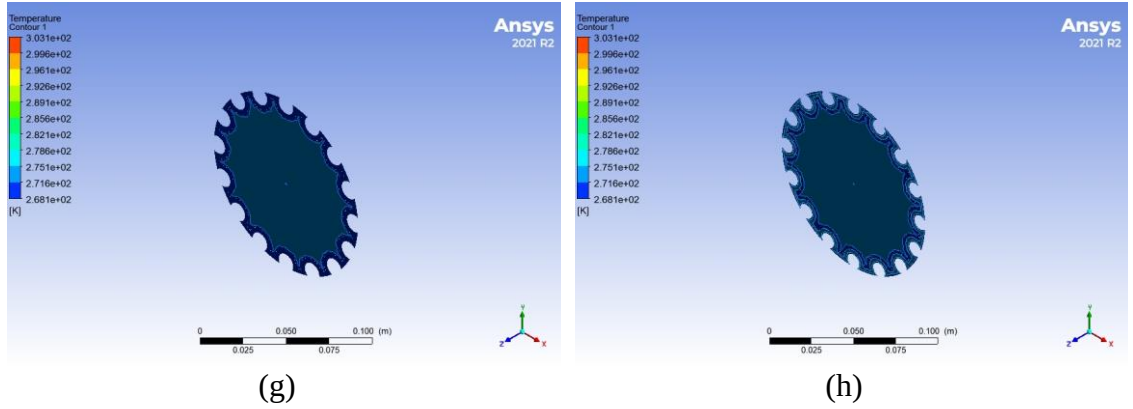
(d)



(e)



(f)



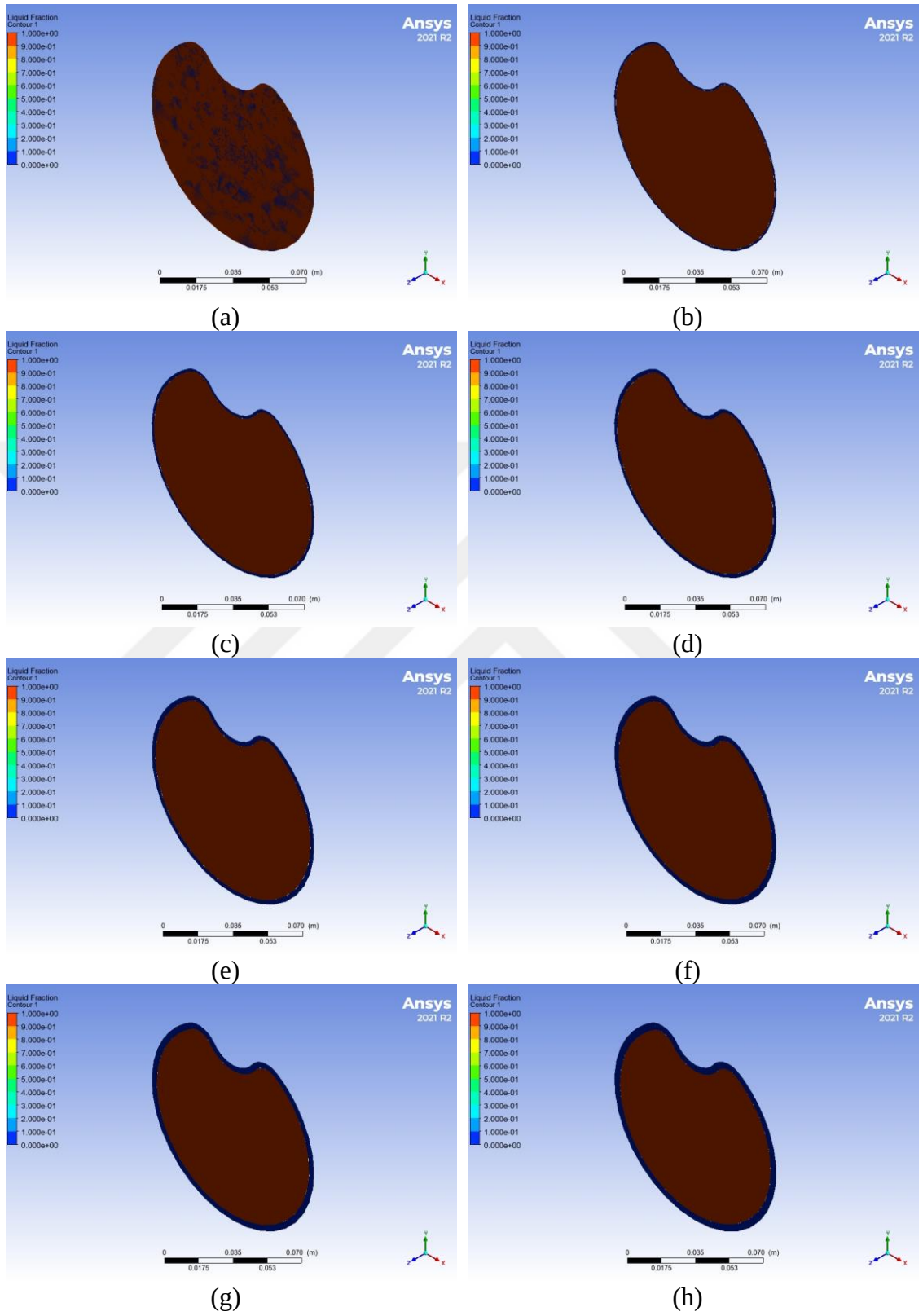
Şekil 3.10. E Kapsüllerinin farklı kalınlıklardaki sıcaklık dağılımı karşılaştırması a) 0,5mm E kapsülü b) 1mm E kapsülü c) 1,5mm E kapsülü d) 2mm E kapsülü e) 2,5mm E kapsülü f) 3mm E kapsülü g) 3,5mm E kapsülü h) 4mm E kapsülü

Şekil 3.10.'a bakarak sıcaklık dağılımını incelediğimizde, Şekil 3.6.a'da 0,5mm kapsülde yaklaşık 0,5mm cidarlarda $2,68.10^{-2}$ K arttığı gözlemlenmiştir. Şekil 3.10.b'de 1mm kapsülde yaklaşık 2,3mm cidarlarda $2,681.10^{-2}$ K arttığı, Şekil 3.10.c'de 1,5mm kapsülde yaklaşık 3,7mm cidarlarda $2,681.10^{-2}$ K arttığı, Şekil 3.10.d'de 2mm kapsülde yaklaşık 5,1mm cidarlarda $2,681.10^{-2}$ K arttığı, Şekil 3.10.e'de 2,5mm kapsülde yaklaşık 6,9mm cidarlarda $2,681.10^{-2}$ K arttığı, Şekil 3.10.f'de 3mm kapsülde yaklaşık 8,1mm cidarlarda $2,681.10^{-2}$ K arttığı, Şekil 3.6.g'de 3,5mm kapsülde yaklaşık 9,2mm cidarlarda $2,681.10^{-2}$ K arttığı tespit edilmiştir. Bu kalınlık artarak Şekil 3.10.h'de 4mm kapsülde 10mm cidarlarda $2,681.10^{-2}$ K artırdığı gözlemlenmiştir.

Şekil 3.9'da verildiği gibi erime kesitleri önce artan sonra azalan trendde olduğu gözlenirken, Şekil 3.10'da sıcaklık dağılımı kalınlık arttıkça sıcaklık derinliklerini incelediğimizde önce artan trendde olduğu gözlemlenmiştir.

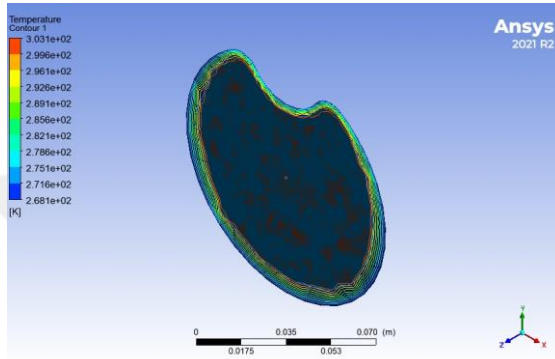
3.1.6. F Kapsülü Erime Kesitleri ve Sıcaklık Dağılımı Analiz Karşılaştırmaları

Bu bölümde F kapsüllerinin farklı kalınlıklarda erime kesitleri ve sıcaklık dağılım durumlarının karşılaştırması yapılmıştır.

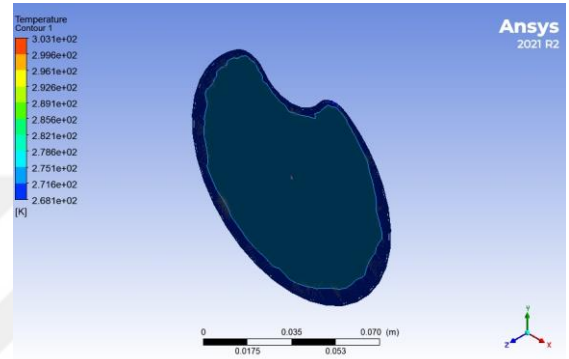


Şekil 3.11. F Kapsüllerinin farklı kalınlıklardaki erime kesiti karşılaştırması a) 0,5mm F kapsülü b) 1mm F kapsülü c) 1,5mm F kapsülü d) 2mm F kapsülü e) 2,5mm F kapsülü f) 3mm F kapsülü g) 3,5mm F kapsülü h) 4mm F kapsülü

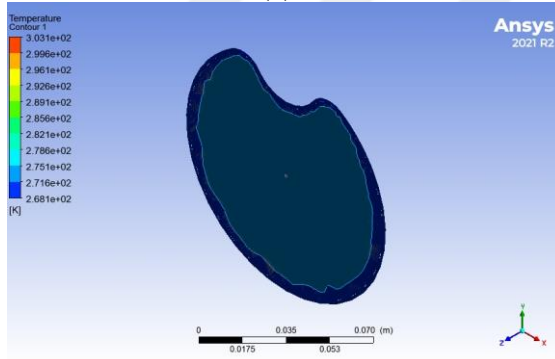
Şekil 3.11.a'da 0,5mm kapsülde yaklaşık 0,5mm başlamıştır. Şekil 3.11.b'de 1mm kapsülde erime 1,1mm, Şekil 3.11.c'de 1,5mm kapsülde erime 1,7mm, Şekil 3.11.d'de 2mm kapsülde erime 2,1mm, Şekil 3.11.e'de 2,5mm kapsülde erime 2,9mm, Şekil 3.11.f'de 3mm kapsülde erime 3,5mm, Şekil 3.11.g'de 3,5mm kapsülde erime 4,4mm tespit edilmiştir. Şekil 3.11.h'de 4mm kapsülde ise yaklaşık 5mm'ye kadar çıkmıştır. Burada kalınlık ile erime sınırının önce arttığı sonra azaldığı gözlemlenmiştir.



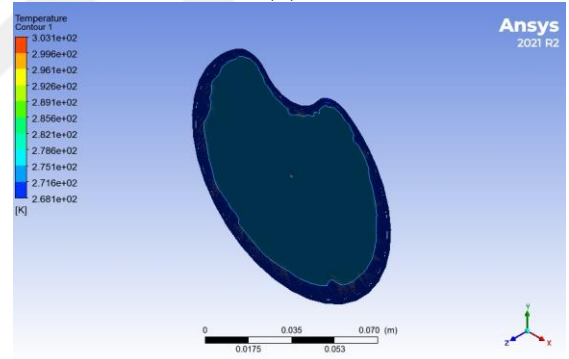
(a)



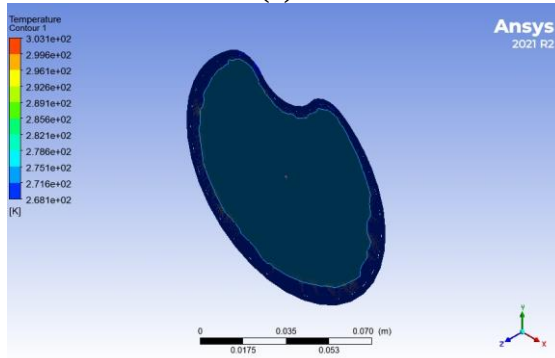
(b)



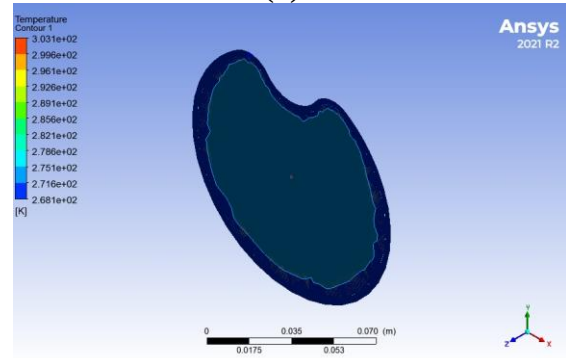
(c)



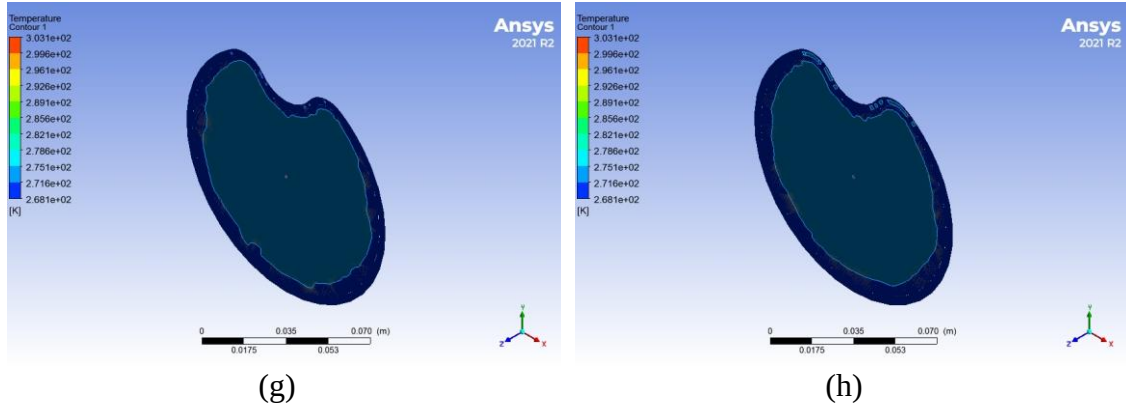
(d)



(e)



(f)



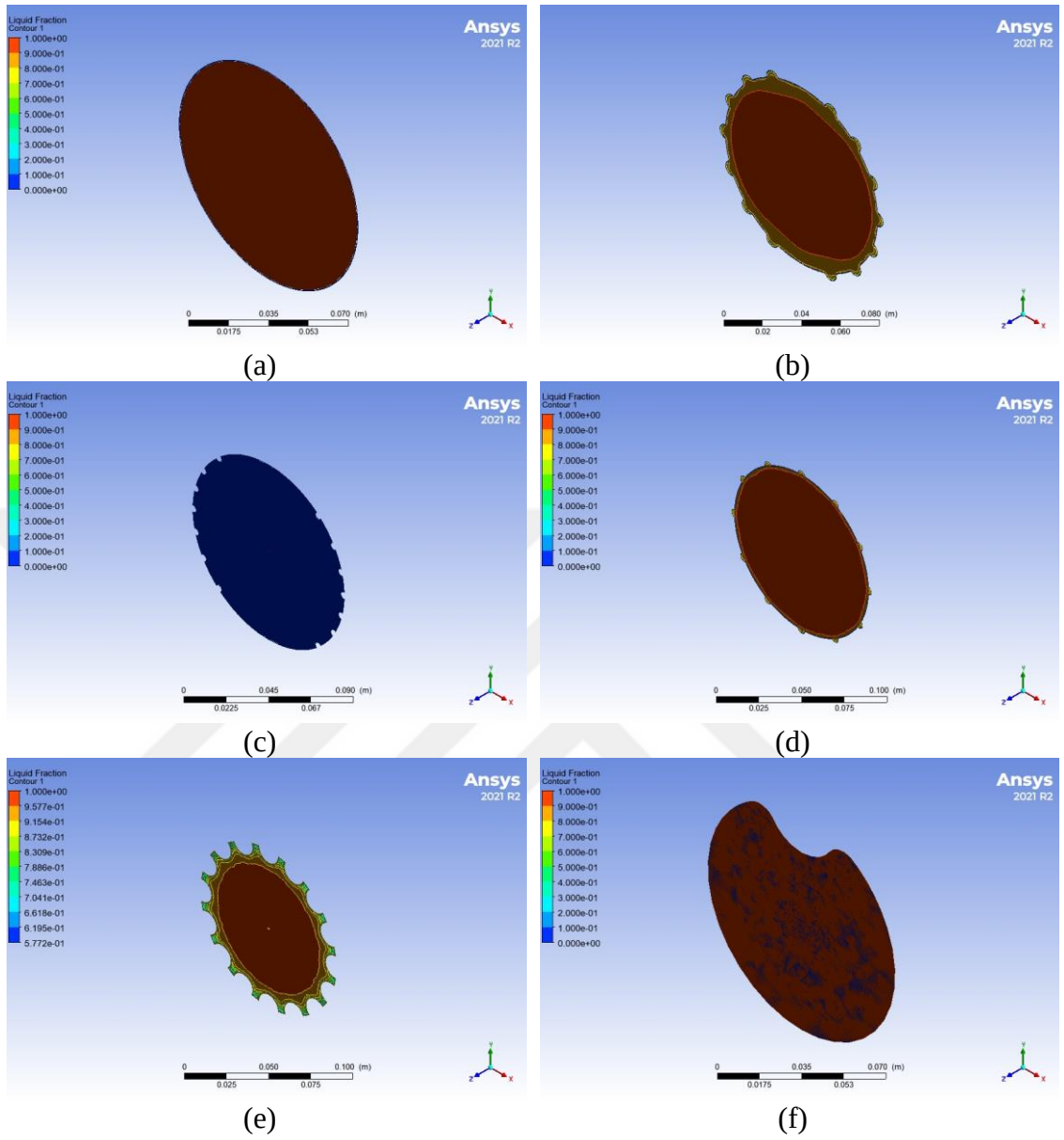
Şekil 3.12. F Kapsüllerinin farklı kalınlıklardaki sıcaklık dağılımı karşılaştırması a) 0,5mm F kapsülü b) 1mm F kapsülü c) 1,5mm F kapsülü d) 2mm F kapsülü e) 2,5mm F kapsülü f) 3mm F kapsülü g) 3,5mm F kapsülü h) 4mm F kapsülü

Şekil 3.12.'a bakarak sıcaklık dağılımını incelediğimizde, Şekil 3.6.a'da 0,5mm kapsülde yaklaşık 0,5mm cidarlarda $2,68 \cdot 10^{-2}$ K arttığı gözlemlenmiştir. Şekil 3.12.b'de 1mm kapsülde yaklaşık 5mm cidarlarda $2,681 \cdot 10^{-2}$ K arttığı, Şekil 3.12.c'de 1,5mm kapsülde yaklaşık 5,1mm cidarlarda $2,681 \cdot 10^{-2}$ K arttığı, Şekil 3.12.d'de 2mm kapsülde yaklaşık 5,3mm cidarlarda $2,681 \cdot 10^{-2}$ K arttığı, Şekil 3.12.e'de 2,5mm kapsülde yaklaşık 5,6mm cidarlarda $2,681 \cdot 10^{-2}$ K arttığı, Şekil 3.12.f'de 3mm kapsülde yaklaşık 5,7mm cidarlarda $2,681 \cdot 10^{-2}$ K arttığı, Şekil 3.12.g'de 3,5mm kapsülde yaklaşık 5,9mm cidarlarda $2,681 \cdot 10^{-2}$ K arttığı tespit edilmiştir. Bu kalınlık artarak Şekil 3.12.h'de 4mm kapsülde 6,3mm cidarlarda $2,681 \cdot 10^{-2}$ K arttırdığı gözlemlenmiştir.

Şekil 3.11'de verildiği gibi erime kesitleri önce artan trendde olduğu gözlenirken, Şekil 3.12'de sıcaklık dağılımı kalınlık arttıkça sıcaklık derinlikleri incelediğimizde artan trendde olduğu gözlemlenmiştir. F kapsüllerinde kristallenmeler olduğu gözlenmiştir.

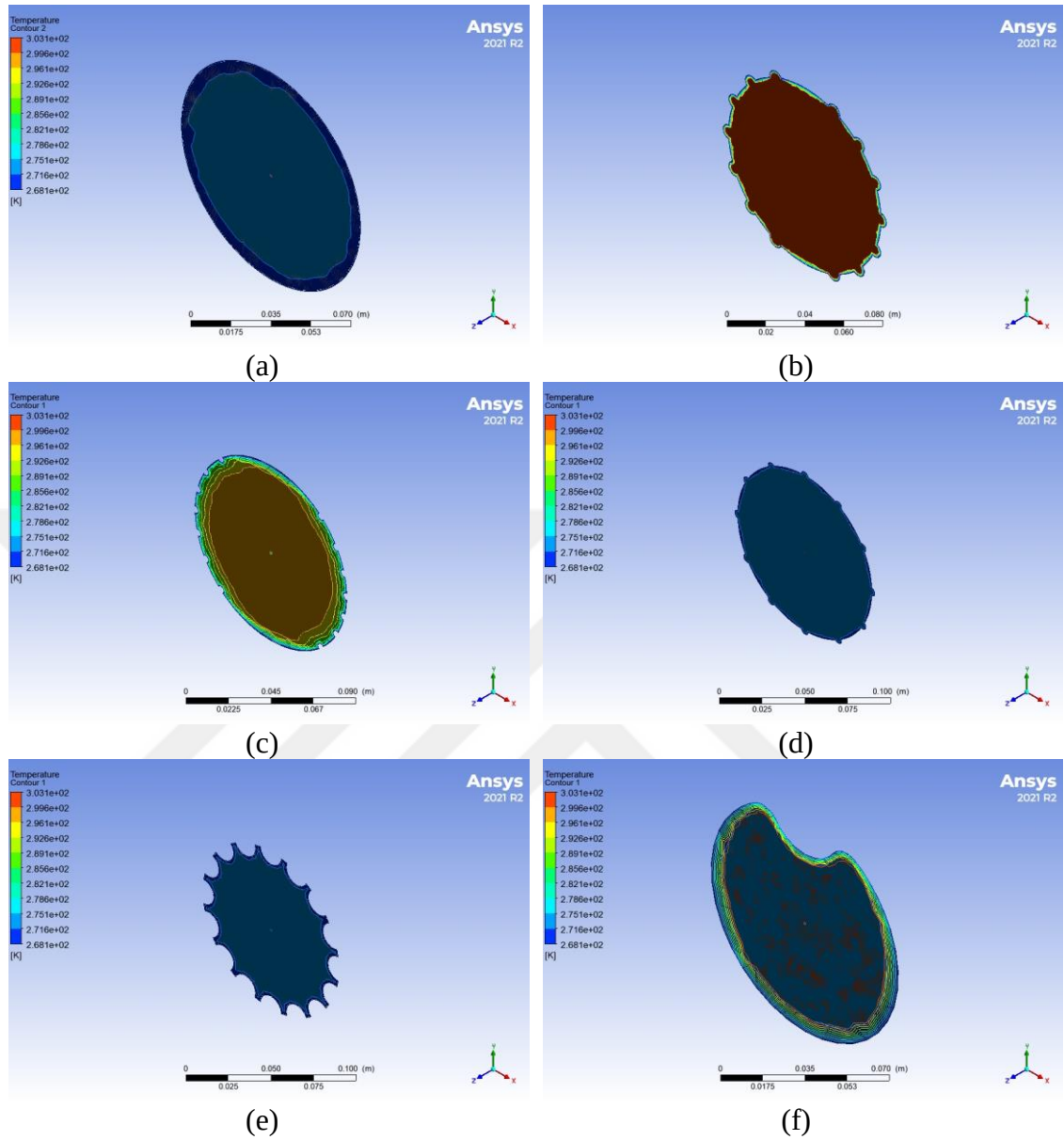
3.1.7. 0,5mm Kalınlığındaki Farklı Kapsüllerin Erime Kesitleri ve Sıcaklık Dağılımı Analiz Karşılaştırmaları

Bu bölümde 0,5mm kalınlığındaki kapsüllerin farklı kalınlıklarda erime kesitleri ve sıcaklık dağılım durumlarının karşılaştırması yapılmıştır.



Şekil 3.13. 0,5mm kapsüllerinin farklı kalınlıklardaki erime kesiti karşılaştırması a) 0,5mm A kapsülü b) 0,5mm B kapsülü c) 0,5mm C kapsülü d) 0,5mm D kapsülü e) 0,5mm E kapsülü f) 0,5mm F kapsülü

Şekil 3.13.a'da A kapsülünde yaklaşık 1mm başlamıştır. Şekil 3.13.b'de B kapsülünde erime 0,5mm, Şekil 3.13.c'de C kapsülünde erime 0,2mm, Şekil 3.13.d'de D kapsülünde erime 0,5mm, Şekil 3.13.e'de E kapsülünde erime 2,9mm, Şekil 3.13. f'de F kapsülünde erime 0,5mm olarak tespit edilmiştir.

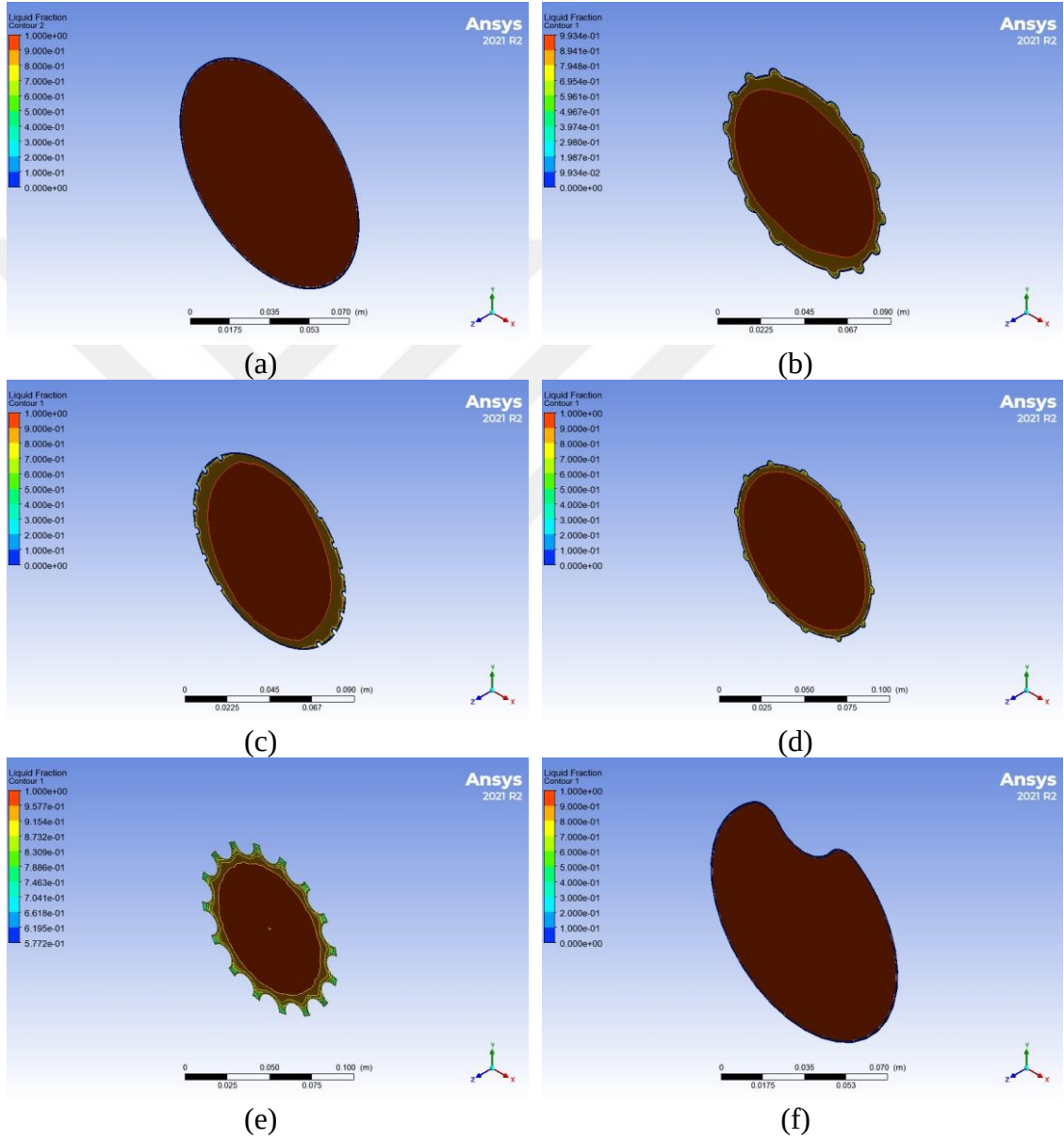


Şekil 3.14. 0,5mm kapsüllerinin farklı kalınlıklardaki sıcaklık dağılımı karşılaştırması a) 0,5mm A kapsülü b) 0,5mm B kapsülü c) 0,5mm C kapsülü d) 0,5mm D kapsülü e) 0,5mm E kapsülü f) 0,5mm F kapsülü

Şekil 3.14.'a bakarak sıcaklık dağılımını incelediğimizde, Şekil 3.14.a'da A kapsülünde yaklaşık 5mm cidarlarda $2,68.10^{-2}$ K arttığı gözlemlenmiştir. Şekil 3.14.b'de B kapsülünde yaklaşık 0,1mm cidarlarda $2,681.10^{-2}$ K arttığı, Şekil 3.14.c'de C kapsülünde yaklaşık 0,5mm cidarlarda $2,681.10^{-2}$ K arttığı, Şekil 3.14.d'de D kapsülünde yaklaşık 2mm cidarlarda $2,681.10^{-2}$ K arttığı, Şekil 3.14.e'de E kapsülünde yaklaşık 0,5mm cidarlarda $2,681.10^{-2}$ K arttığı, Şekil 3.14.f'de F kapsülünde yaklaşık 0,5mm cidarlarda $2,681.10^{-2}$ K arttığı tespit edilmiştir.

3.1.8. 1mm Kalınlığındaki Farklı Kapsüllerin Erime Kesitleri ve Sıcaklık Dağılımı Analiz Karşılaştırmaları

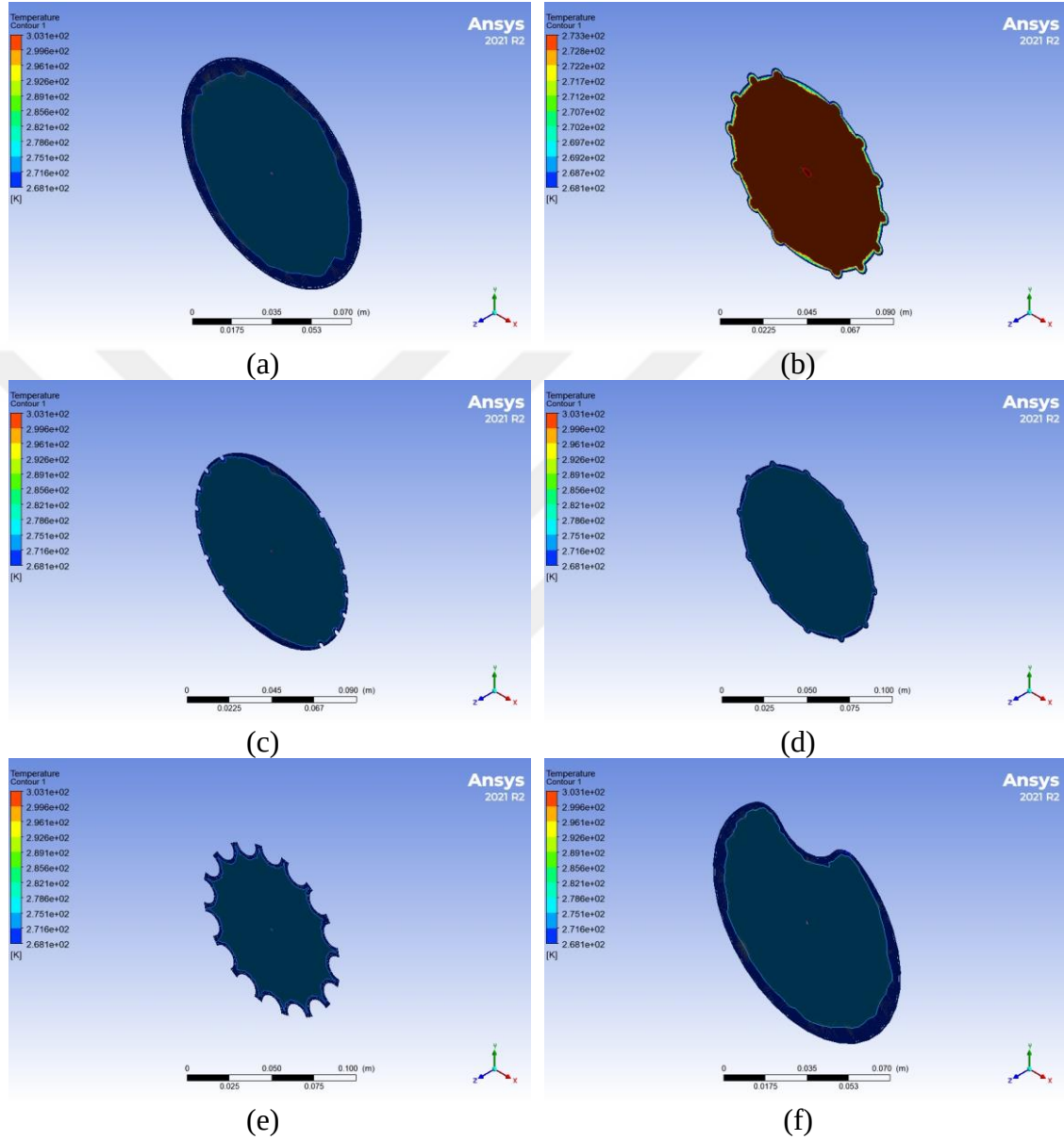
Bu bölümde 1mm kalınlığındaki kapsüllerin farklı kalınlıklarda erime kesitleri ve sıcaklık dağılım durumlarının karşılaştırması yapılmıştır.



Şekil 3.15. 1mm kapsüllerinin farklı kalınlıklardaki erime kesiti karşılaştırması a) 1mm A kapsülü b) 1mm B kapsülü c) 1mm C kapsülü d) 1mm D kapsülü e) 1mm E kapsülü f) 1mm F kapsülü

Şekil 3.15.a'da A kapsülünde yaklaşık 1,7mm başlamıştır. Şekil 3.15.b'de B kapsülünde erime 0,4mm, Şekil 3.15.c'de C kapsülünde erime 2,1mm, Şekil 3.15.d'de D kapsülünde

erime 1,3mm, Şekil 3.15.e’de E kapsülünde erime 1mm, Şekil 3.15. f’de F kapsülünde erime 1,1mm olarak tespit edilmiştir.



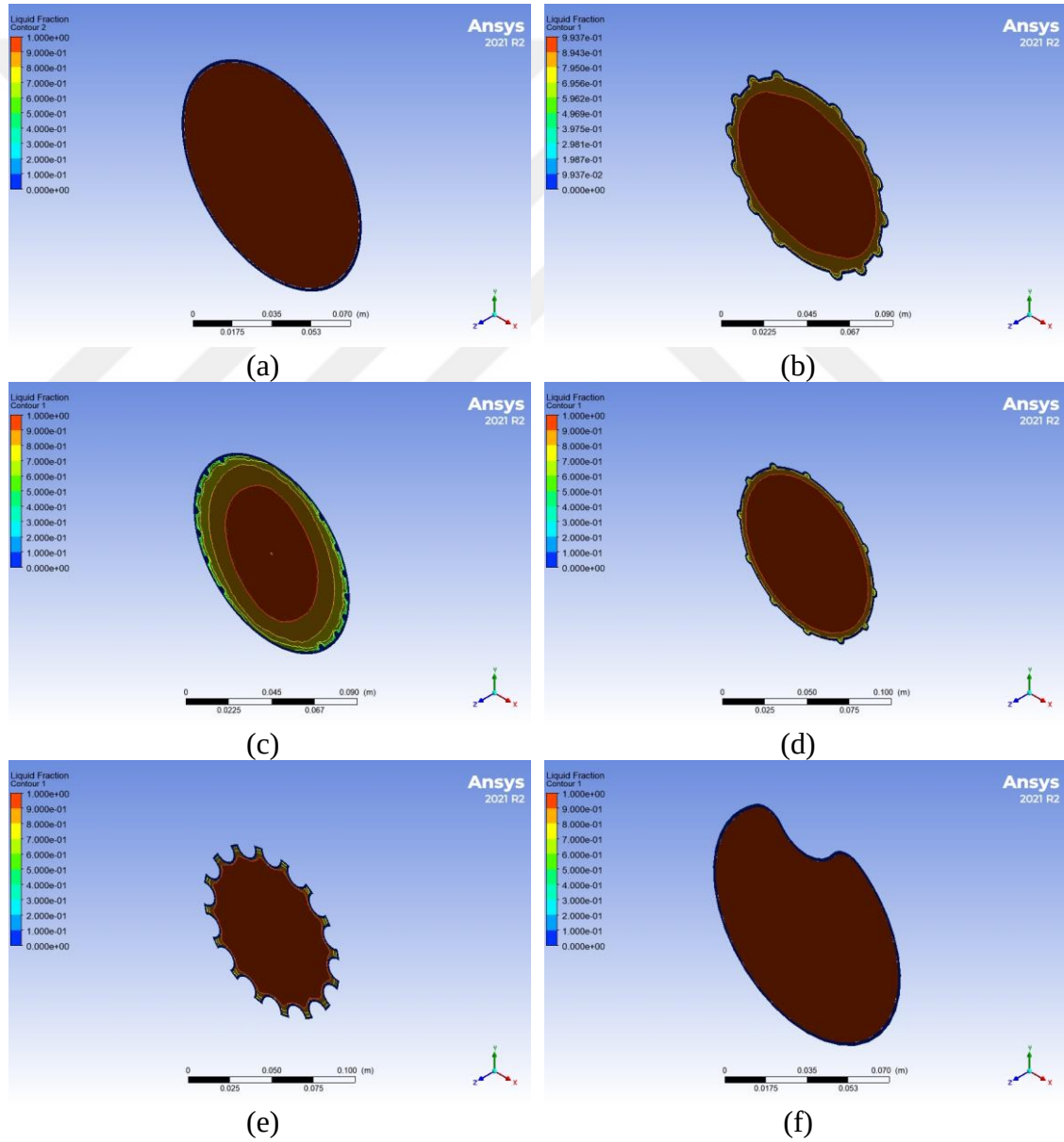
Şekil 3.16. 1mm kapsüllerinin farklı kalınlıklardaki sıcaklık dağılımı karşılaştırması a) 1mm A kapsülü b) 1mm B kapsülü c) 1mm C kapsülü d) 1mm D kapsülü e) 1mm E kapsülü f) 1mm F kapsülü

Şekil 3.16.’a bakarak sıcaklık dağılımını incelediğimizde, Şekil 3.16.a’da A kapsülünde yaklaşık 7,8mm cidarlarda $2,68.10^{-2}$ K arttığı gözlemlenmiştir. Şekil 3.16.b’de B kapsülünde yaklaşık 0,5mm cidarlarda $2,681.10^{-2}$ K arttığı, Şekil 3.16.c’de C kapsülünde yaklaşık 2,1mm cidarlarda $2,681.10^{-2}$ K arttığı, Şekil 3.16.d’de D kapsülünde yaklaşık

2,3mm cidarlarda $2,681 \cdot 10^{-2}$ K arttığı, Şekil 3.16.e'de E kapsülünde yaklaşık 2,3mm cidarlarda $2,681 \cdot 10^{-2}$ K arttığı, Şekil 3.16.f'de F kapsülünde yaklaşık 5mm cidarlarda $2,681 \cdot 10^{-2}$ K arttığı tespit edilmiştir.

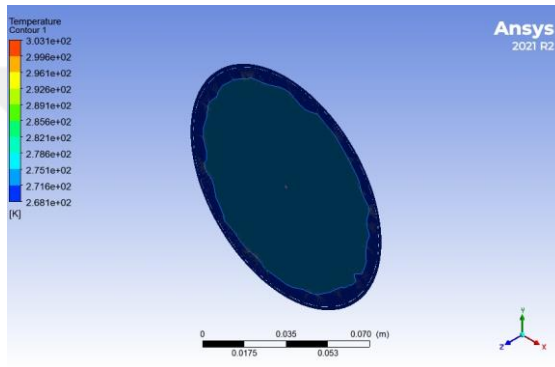
3.1.9. 1,5mm Kalınlığındaki Farklı Kapsüllerin Erime Kesitleri ve Sıcaklık Dağılımı Analiz Karşılaştırmaları

Bu bölümde 1,5mm kalınlığındaki kapsüllerin farklı kalınlıklarda erime kesitleri ve sıcaklık dağılım durumlarının karşılaştırması yapılmıştır.

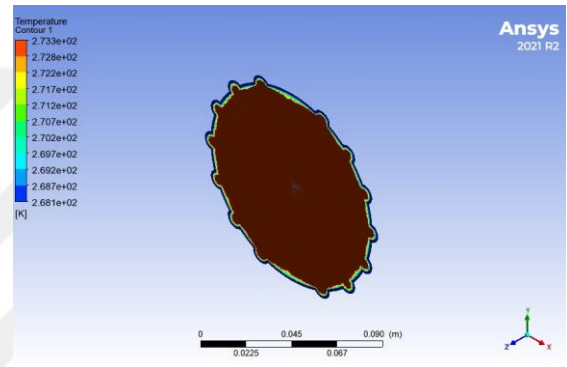


Şekil 3.17. 1,5mm kapsüllerinin farklı kalınlıklardaki erime kesiti karşılaştırması a) 1,5mm A kapsülü b) 1,5mm B kapsülü c) 1,5mm C kapsülü d) 1,5mm D kapsülü e) 1,5mm E kapsülü f) 1,5mm F kapsülü

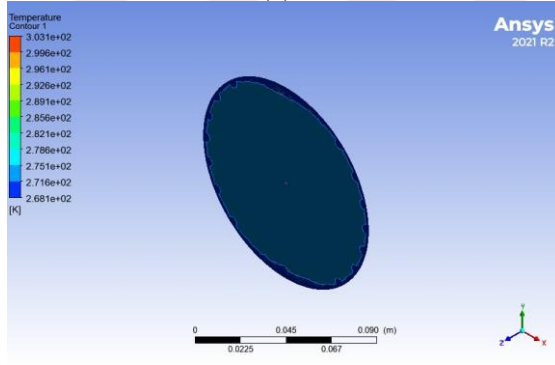
Şekil 3.17.a’da A kapsülünde yaklaşık 2,5mm başlamıştır. Şekil 3.17.b’de B kapsülünde erime 1,5mm, Şekil 3.17.c’de C kapsülünde erime 4,1mm, Şekil 3.17.d’de D kapsülünde erime 3,4mm, Şekil 3.17.e’de E kapsülünde erime 2mm, Şekil 3.17. f’de F kapsülünde erime 1,7mm olarak tespit edilmiştir.



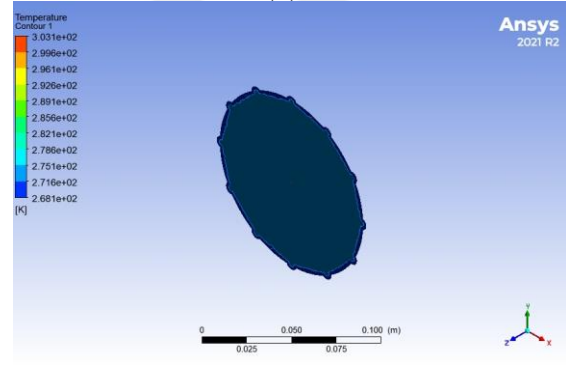
(a)



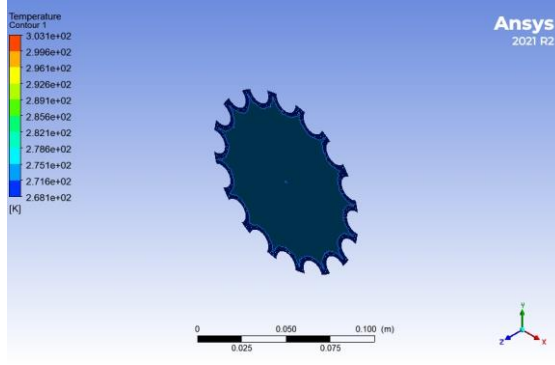
(b)



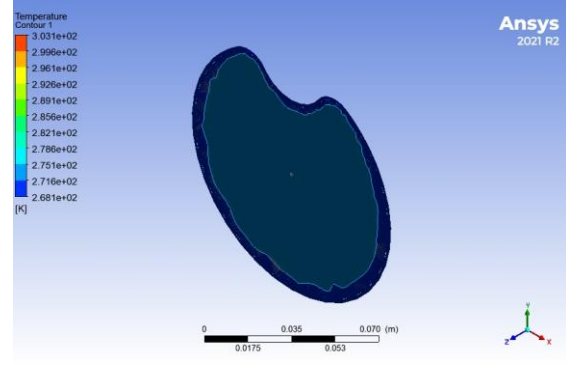
(c)



(d)



(e)



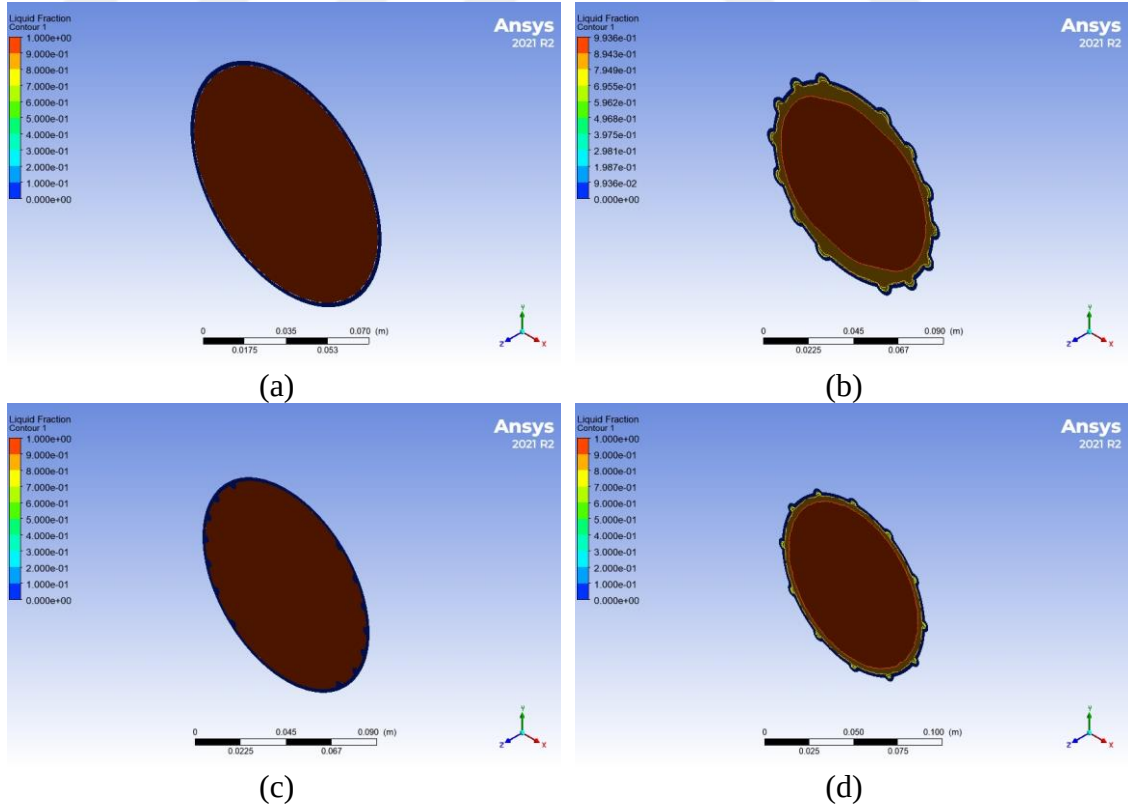
(f)

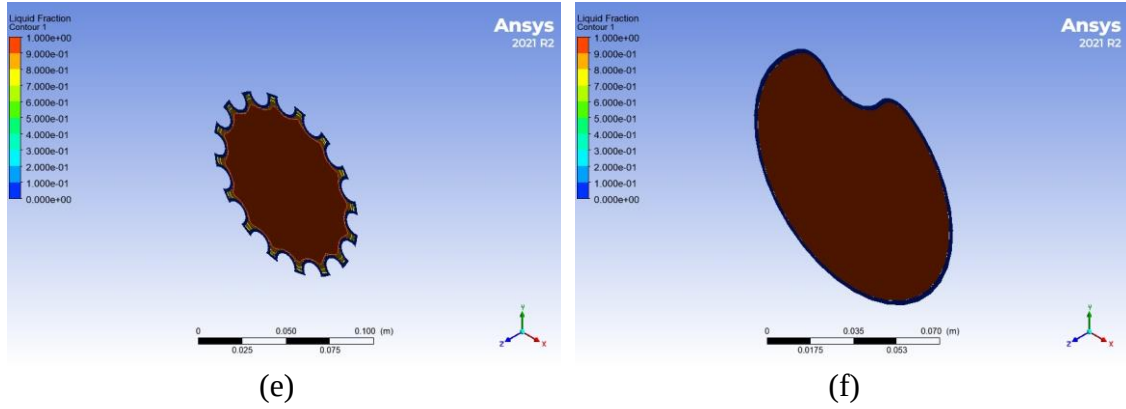
Şekil 3.18. 1,5mm kapsüllerinin farklı kalınlıklardaki sıcaklık dağılımı karşılaştırması a) 1,5mm A kapsülü b) 1,5mm B kapsülü c) 1,5mm C kapsülü d) 1,5mm D kapsülü e) 1,5mm E kapsülü f) 1,5mm F kapsülü

Şekil 3.18.'a bakarak sıcaklık dağılımını incelediğimizde, Şekil 3.18.a'da A kapsülünde yaklaşık 8,7mm cidarlarda $2,68.10^{-2}$ K arttığı gözlemlenmiştir. Şekil 3.18.b'de B kapsülünde yaklaşık 1,7mm cidarlarda $2,681.10^{-2}$ K arttığı, Şekil 3.18.c'de C kapsülünde yaklaşık 4,1mm cidarlarda $2,681.10^{-2}$ K arttığı, Şekil 3.18.d'de D kapsülünde yaklaşık 2,5mm cidarlarda $2,681.10^{-2}$ K arttığı, Şekil 3.18.e'de E kapsülünde yaklaşık 3,7mm cidarlarda $2,681.10^{-2}$ K arttığı, Şekil 3.18.f'de F kapsülünde yaklaşık 5,1mm cidarlarda $2,681.10^{-2}$ K arttığı tespit edilmiştir.

3.1.10. 2mm Kalınlığındaki Farklı Kapsüllerin Erime Kesitleri ve Sıcaklık Dağılımı Analiz Karşılaştırmaları

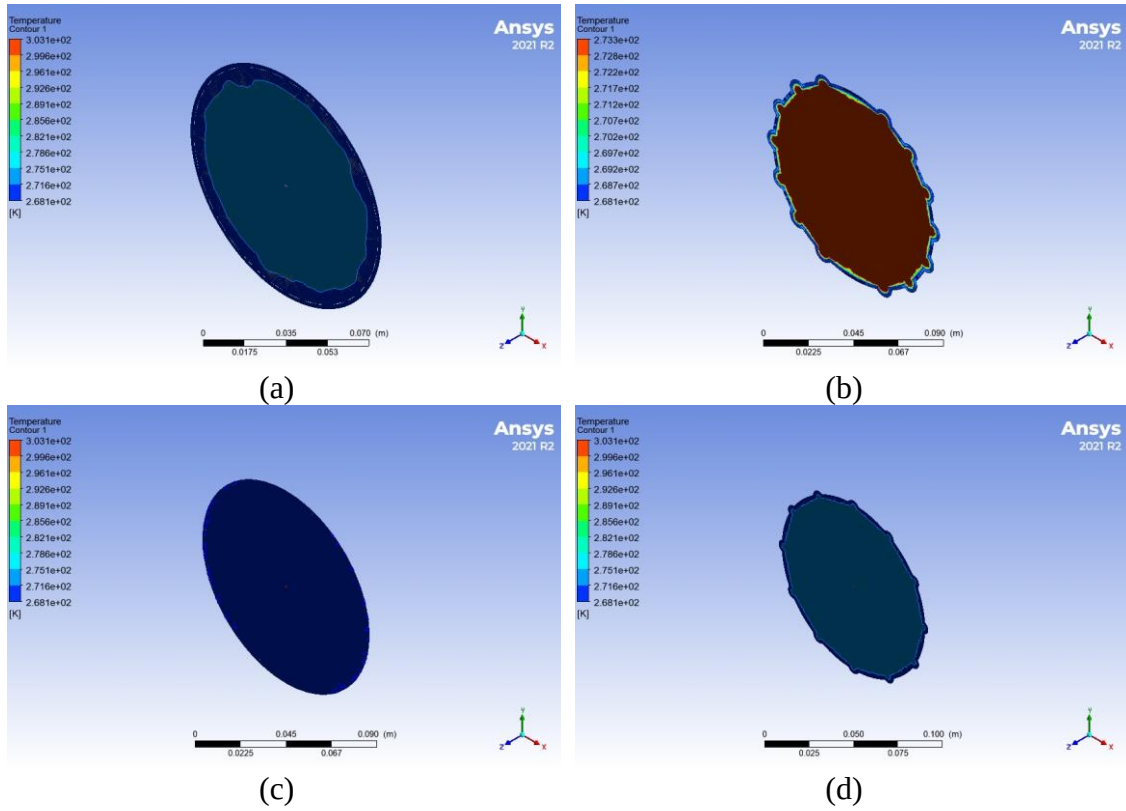
Bu bölümde 2mm kalınlığındaki kapsüllerin farklı kalınlıklarda erime kesitleri ve sıcaklık dağılım durumlarının karşılaştırması yapılmıştır.

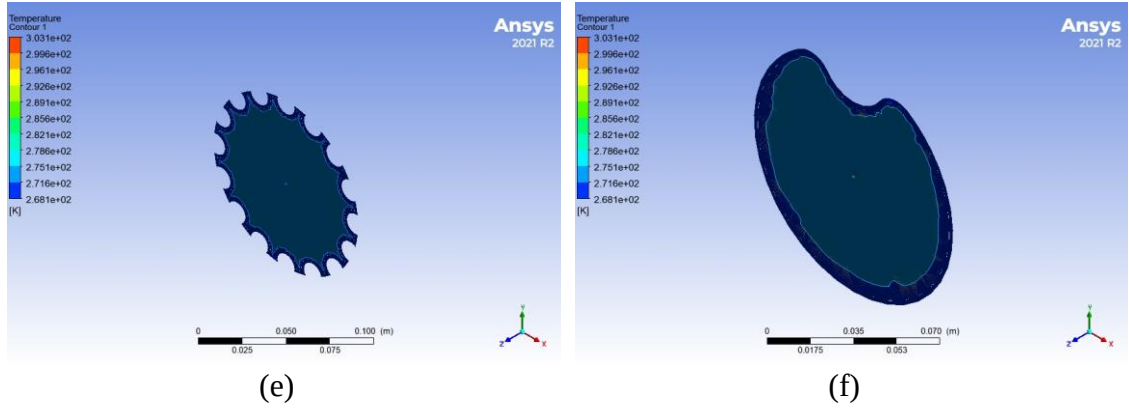




Şekil 3.19. 2mm kapsüllerinin farklı kalınlıklardaki erime kesiti karşılaştırması a) 2mm A kapsülü b) 2mm B kapsülü c) 2mm C kapsülü d) 2mm D kapsülü e) 2mm E kapsülü f) 2mm F kapsülü

Şekil 3.19.a’da A kapsülünde yaklaşık 3,5mm başlamıştır. Şekil 3.19.b’de B kapsülünde erime 2,8mm, Şekil 3.19.c’de C kapsülünde erime 5,4mm, Şekil 3.19.d’de D kapsülünde erime 5,2mm, Şekil 3.19.e’de E kapsülünde erime 2mm, Şekil 3.19. f’de F kapsülünde erime 2,1mm olarak tespit edilmiştir.



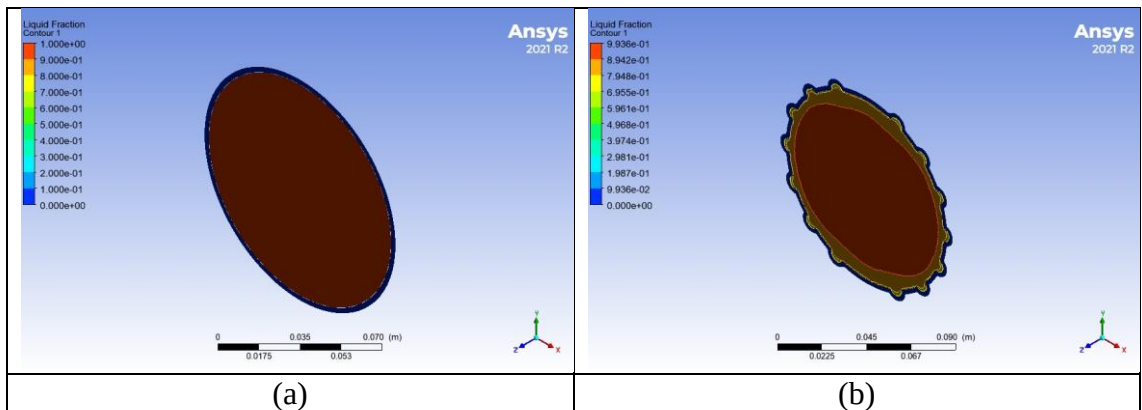


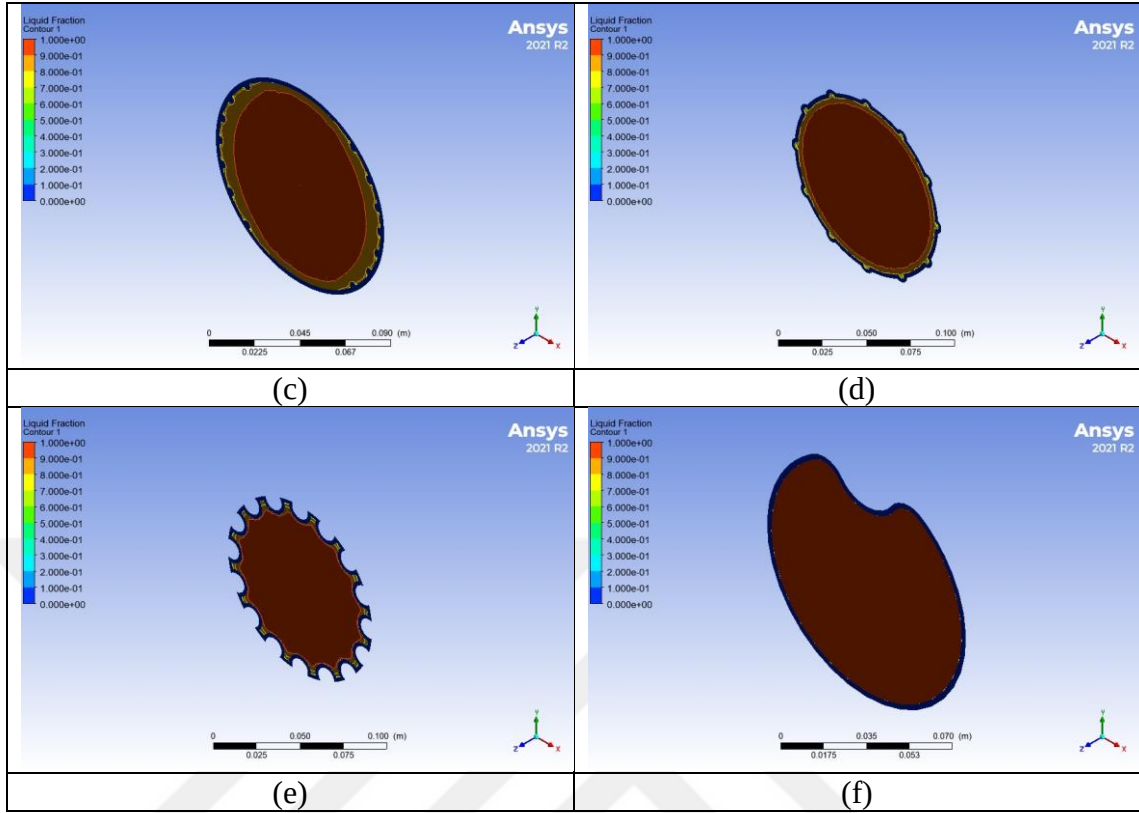
Şekil 3.20. 2mm kapsüllerinin farklı kalınlıklardaki sıcaklık dağılımı karşılaştırması a) 2mm A kapsülü b) 2mm B kapsülü c) 2mm C kapsülü d) 2mm D kapsülü e) 2mm E kapsülü f) 2mm F kapsülü

Şekil 3.20.'a bakarak sıcaklık dağılımını incelediğimizde, Şekil 3.20.a'da A kapsülünde yaklaşık 9,3mm cidarlarda $2,68.10^{-2}$ K arttığı gözlemlenmiştir. Şekil 3.20.b'de B kapsülünde yaklaşık 3mm cidarlarda $2,681.10^{-2}$ K arttığı, Şekil 3.20.c'de C kapsülünde yaklaşık 5,4mm cidarlarda $2,681.10^{-2}$ K arttığı, Şekil 3.20.d'de D kapsülünde yaklaşık 2,9mm cidarlarda $2,681.10^{-2}$ K arttığı, Şekil 3.20.e'de E kapsülünde yaklaşık 5,1mm cidarlarda $2,681.10^{-2}$ K arttığı, Şekil 3.20.f'de F kapsülünde yaklaşık 5,3mm cidarlarda $2,681.10^{-2}$ K arttığı tespit edilmiştir.

3.1.11. 2,5mm Kalınlığındaki Farklı Kapsüllerin Erime Kesitleri ve Sıcaklık Dağılımı Analiz Karşılaştırmaları

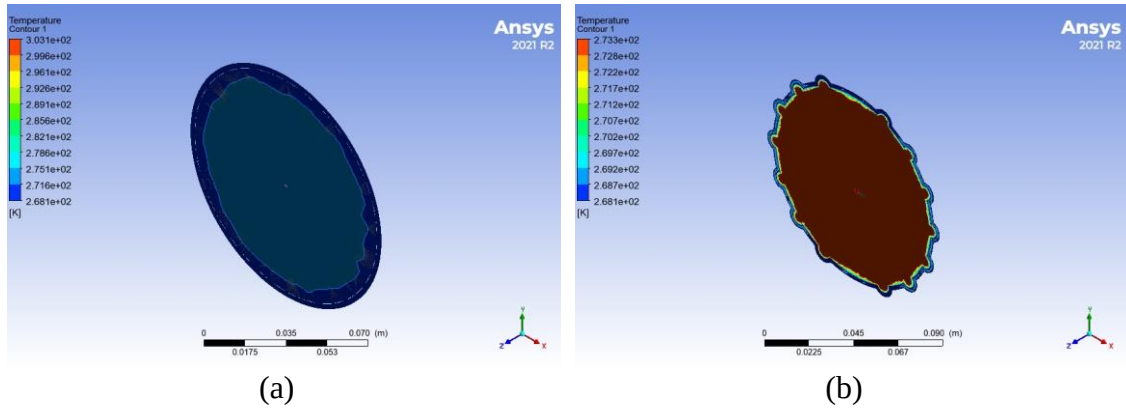
Bu bölümde 2,5mm kalınlığındaki kapsüllerin farklı kalınlıklarda erime kesitleri ve sıcaklık dağılım durumlarının karşılaştırması yapılmıştır.

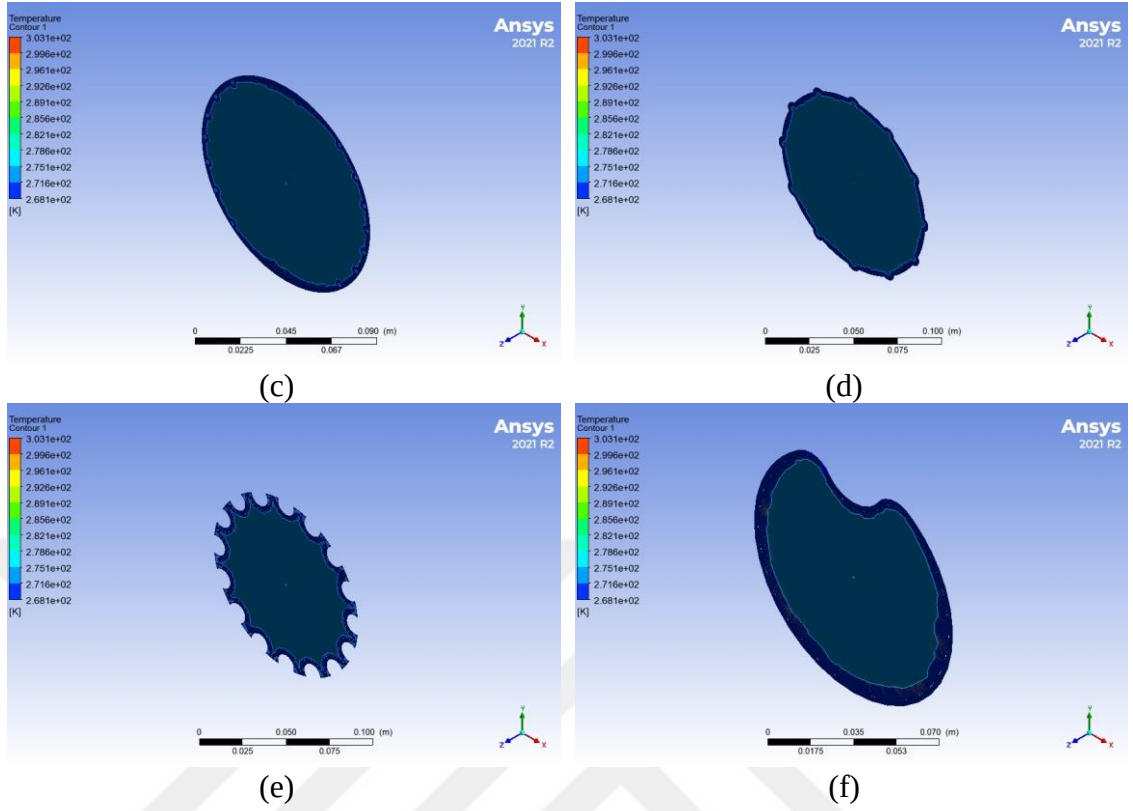




Şekil 3.21. 2,5mm kapsüllerinin farklı kalınlıklardaki erime kesiti karşılaştırması a) 2,5mm A kapsülü b) 2,5mm B kapsülü c) 2,5mm C kapsülü d) 2,5mm D kapsülü e) 2,5mm E kapsülü f) 2,5mm F kapsülü

Şekil 3.21.a'da A kapsülünde yaklaşık 4,8mm başlamıştır. Şekil 3.21.b'de B kapsülünde erime 3,3mm, Şekil 3.21.c'de C kapsülünde erime 6,7mm, Şekil 3.21.d'de D kapsülünde erime 6,5mm, Şekil 3.21.e'de E kapsülünde erime 2,5mm, Şekil 3.21. f'de F kapsülünde erime 2,9mm olarak tespit edilmiştir.



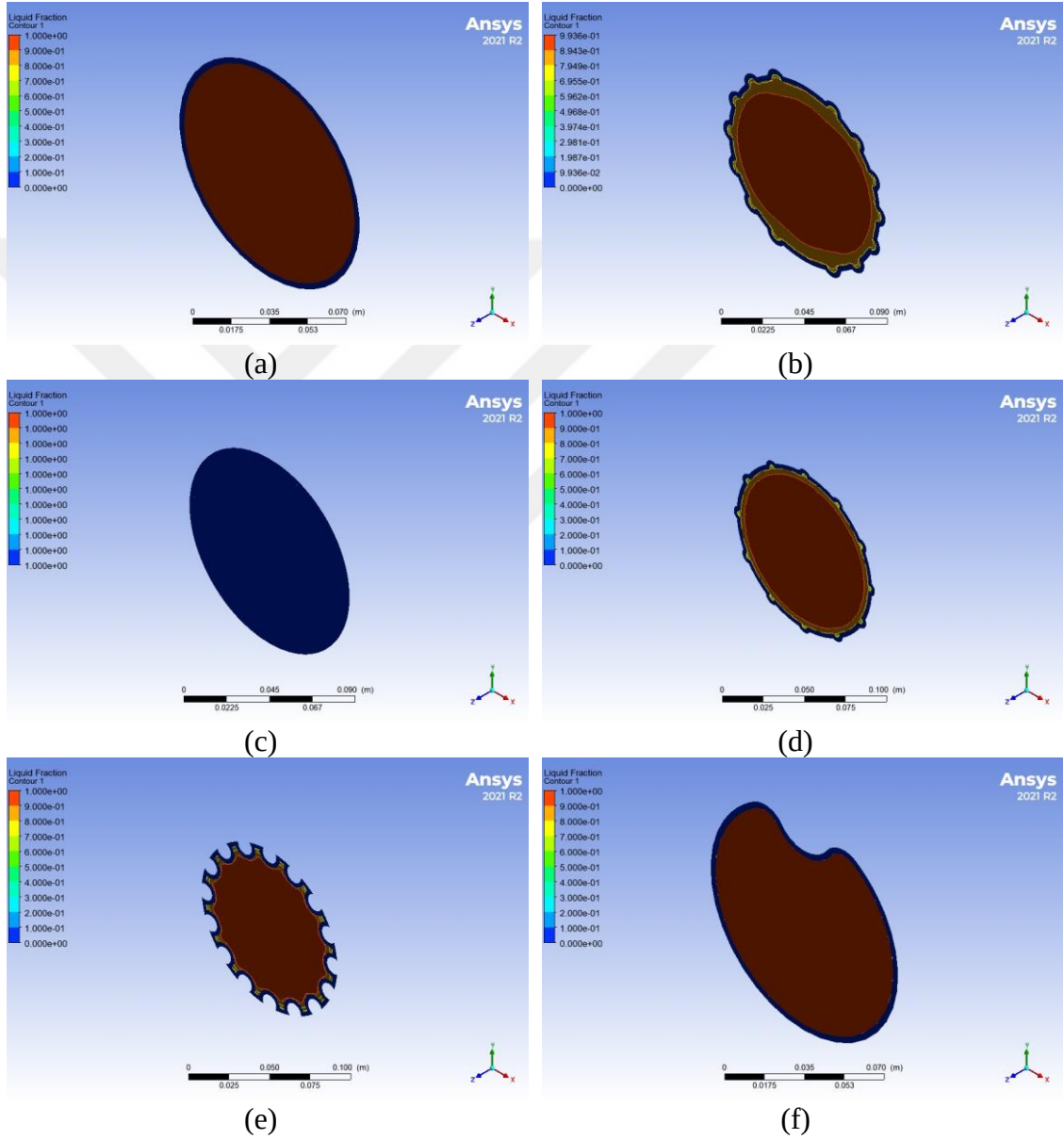


Şekil 3.22. 2,5mm kapsüllerinin farklı kalınlıklardaki sıcaklık dağılımı karşılaştırması a) 2,5mm A kapsülü b) 2,5mm B kapsülü c) 2,5mm C kapsülü d) 2,5mm D kapsülü e) 2,5mm E kapsülü f) 2,5mm F kapsülü

Şekil 3.22.'a bakarak sıcaklık dağılımını incelediğimizde, Şekil 3.22.a'da A kapsülünde yaklaşık 10,1mm cidarlarda $2,68 \cdot 10^{-2}$ K arttığı gözlemlenmiştir. Şekil 3.22.b'de B kapsülünde yaklaşık 3,5mm cidarlarda $2,681 \cdot 10^{-2}$ K arttığı, Şekil 3.22.c'de C kapsülünde yaklaşık 6,7mm cidarlarda $2,681 \cdot 10^{-2}$ K arttığı, Şekil 3.22.d'de D kapsülünde yaklaşık 4,5mm cidarlarda $2,681 \cdot 10^{-2}$ K arttığı, Şekil 3.22.e'de E kapsülünde yaklaşık 6,9mm cidarlarda $2,681 \cdot 10^{-2}$ K arttığı, Şekil 3.22.f'de F kapsülünde yaklaşık 5,6mm cidarlarda $2,681 \cdot 10^{-2}$ K arttığı tespit edilmiştir.

3.1.12. 3mm Kalınlığındaki Farklı Kapsüllerin Erime Kesitleri ve Sıcaklık Dağılımı Analiz Karşılaştırmaları

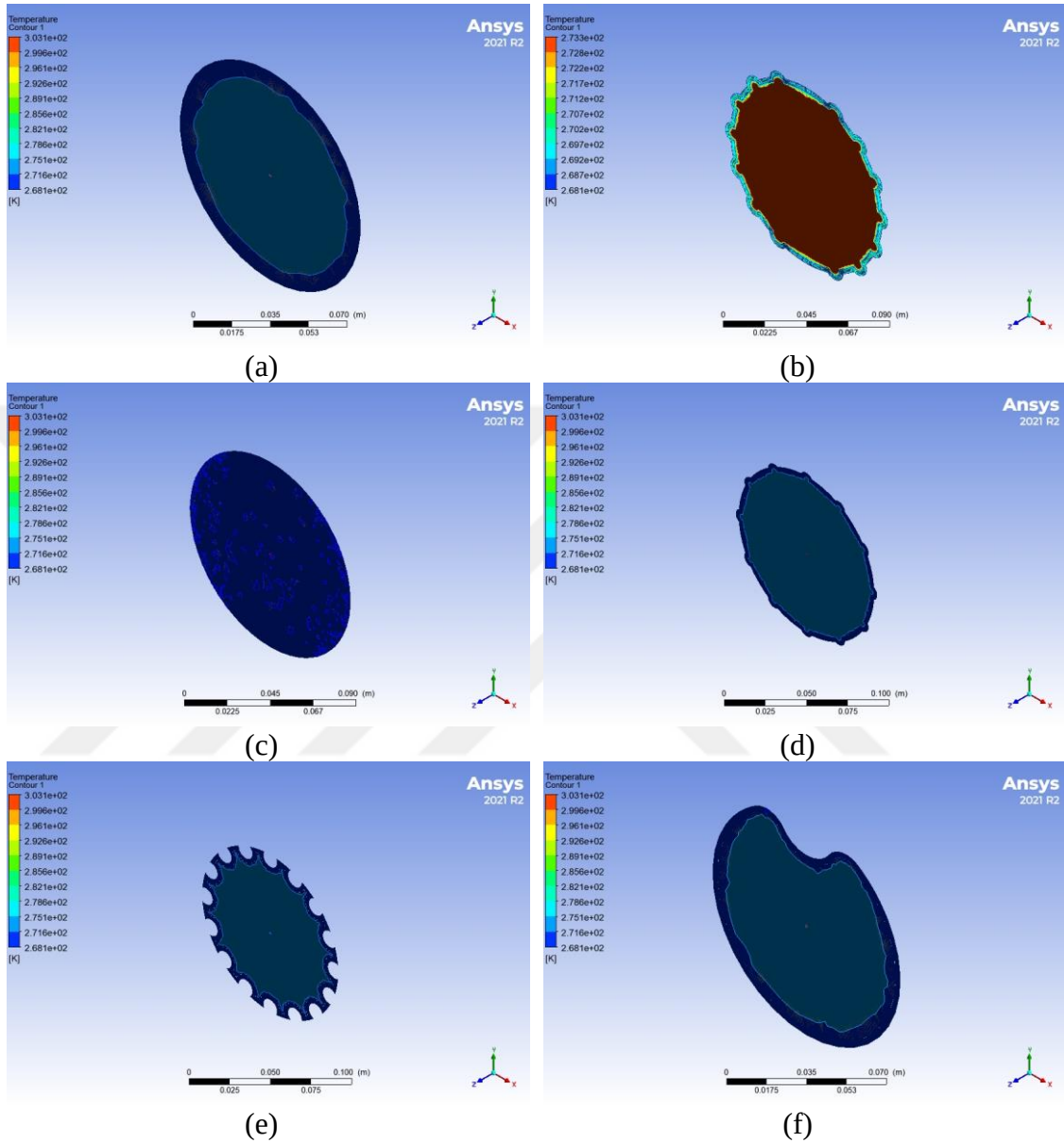
Bu bölümde 3mm kalınlığındaki kapsüllerin farklı kalınlıklarda erime kesitleri ve sıcaklık dağılım durumlarının karşılaştırması yapılmıştır.



Şekil 3.23. 3mm kapsüllerinin farklı kalınlıklardaki erime kesiti karşılaştırması a) 3mm A kapsülü b) 3mm B kapsülü c) 3mm C kapsülü d) 3mm D kapsülü e) 3mm E kapsülü f) 3mm F kapsülü

Şekil 3.23.a'da A kapsülünde yaklaşık 5,3mm başlamıştır. Şekil 3.23.b'de B kapsülünde erime 3,7mm, Şekil 3.23.c'de C kapsülünde erime 7,9mm, Şekil 3.23.d'de D kapsülünde

erime 7,7mm, Şekil 3.23.e’de E kapsülünde erime 3,3mm, Şekil 3.23. f’de F kapsülünde erime 3,5mm olarak tespit edilmiştir.



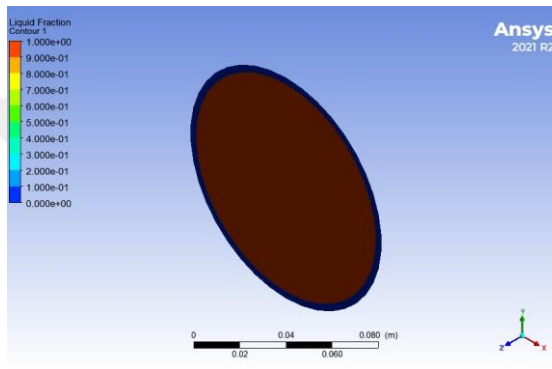
Şekil 3.24. 3mm kapsüllerinin farklı kalınlıklardaki sıcaklık dağılımı karşılaştırması a) 3mm A kapsülü b) 3mm B kapsülü c) 3mm C kapsülü d) 3mm D kapsülü e) 3mm E kapsülü f) 3mm F kapsülü

Şekil 3.24.’a bakarak sıcaklık dağılımını incelediğimizde, Şekil 3.24.a’da A kapsülünde yaklaşık 10,9mm cidarlarda $2,68.10^{-2}$ K arttığı gözlemlenmiştir. Şekil 3.24.b’de B kapsülünde yaklaşık 4mm cidarlarda $2,681.10^{-2}$ K arttığı, Şekil 3.24.c’de C kapsülünde yaklaşık 7,9mm cidarlarda $2,681.10^{-2}$ K arttığı, Şekil 3.24.d’de D kapsülünde yaklaşık 6mm cidarlarda $2,681.10^{-2}$ K arttığı, Şekil 3.24.e’de E kapsülünde yaklaşık 8,1mm

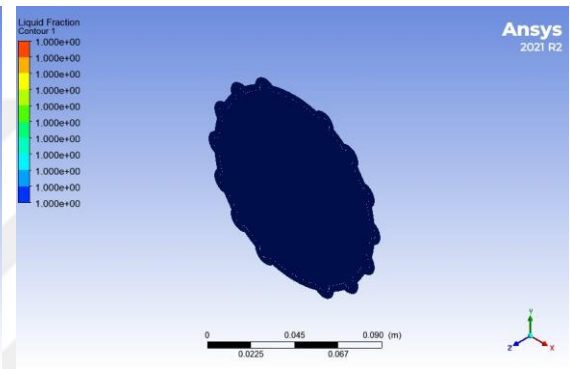
cidarlarda $2,681.10^{-2}$ K arttığı, Şekil 3.24.f'de F kapsülünde yaklaşık 5,7mm cidarlarda $2,681.10^{-2}$ K arttığı tespit edilmiştir.

3.1.13. 3,5mm Kalınlığındaki Farklı Kapsüllerin Erime Kesitleri ve Sıcaklık Dağılımı Analiz Karşılaştırmaları

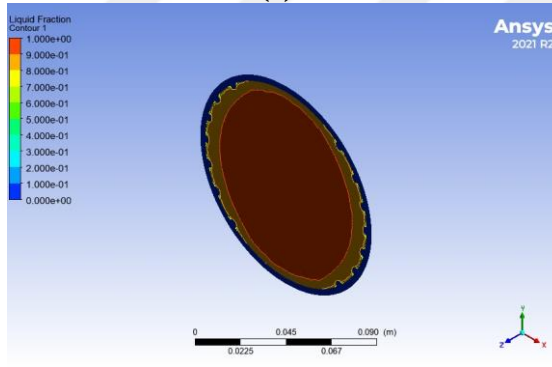
Bu bölümde 3,5mm kalınlığındaki kapsüllerin farklı kalınlıklarda erime kesitleri ve sıcaklık dağılım durumlarının karşılaştırması yapılmıştır.



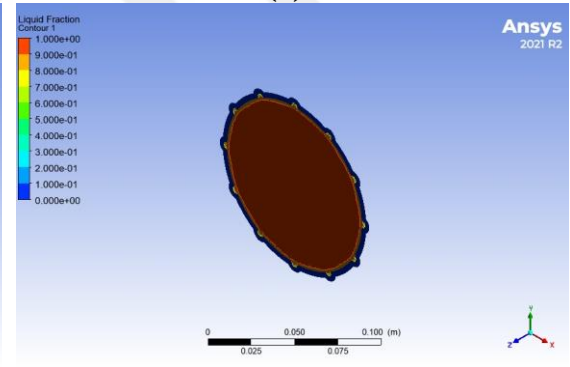
(a)



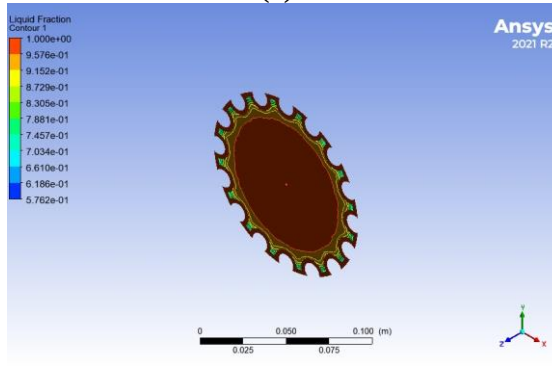
(b)



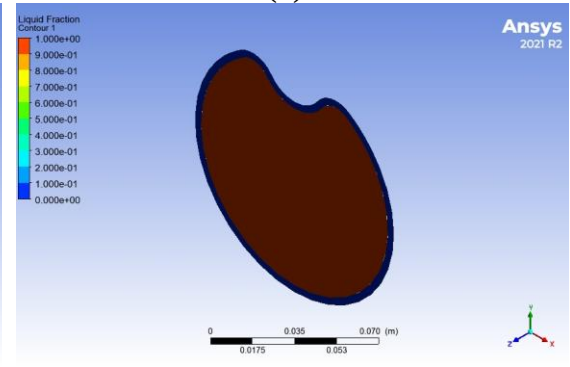
(c)



(d)



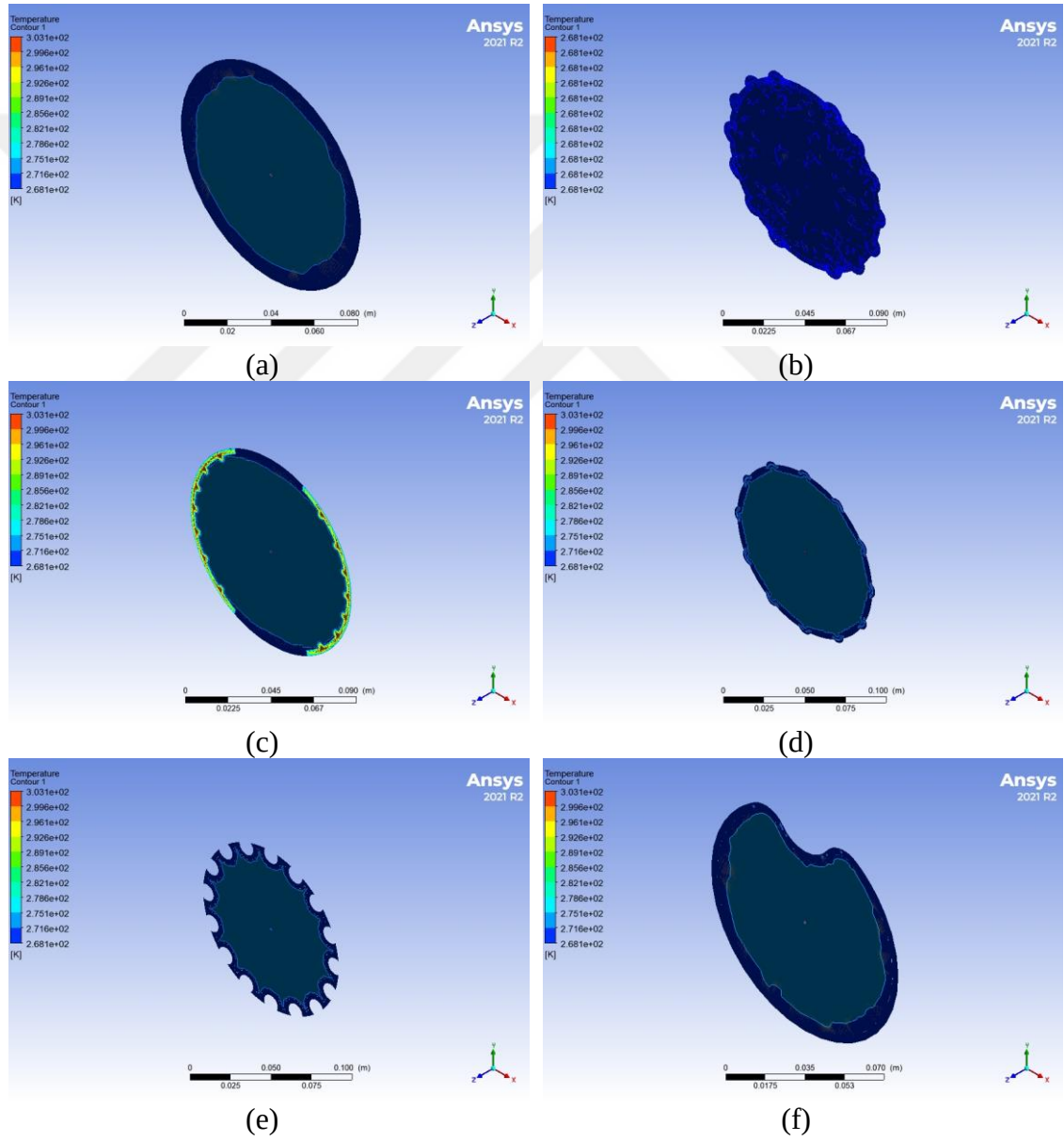
(e)



(f)

Şekil 3.25. 3,5mm kapsüllerinin farklı kalınlıklardaki erime kesiti karşılaştırması a) 3,5mm A kapsülü b) 3,5mm B kapsülü c) 3,5mm C kapsülü d) 3,5mm D kapsülü e) 3,5mm E kapsülü f) 3,5mm F kapsülü

Şekil 3.25.a’da A kapsülünde yaklaşık 5,7mm başlamıştır. Şekil 3.25.b’de B kapsülünde erime 4,3mm, Şekil 3.25.c’de C kapsülünde erime 9,1mm, Şekil 3.25.d’de D kapsülünde erime 8,9mm, Şekil 3.25.e’de E kapsülünde erime 4,3mm, Şekil 3.25. f’de F kapsülünde erime 4,4mm olarak tespit edilmiştir.

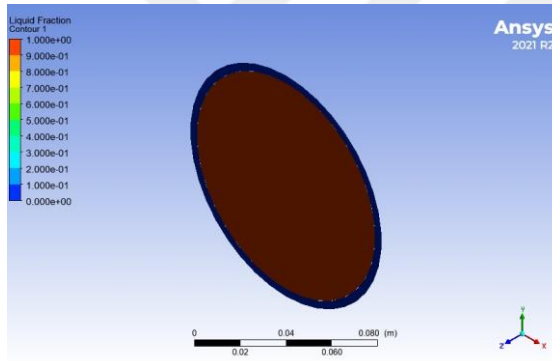


Şekil 3.26. 3,5mm kapsüllerinin farklı kalınlıklardaki sıcaklık dağılımı karşılaştırması a) 3,5mm A kapsülü b) 3,5mm B kapsülü c) 3,5mm C kapsülü d) 3,5mm D kapsülü e) 3,5mm E kapsülü f) 3,5mm F kapsülü

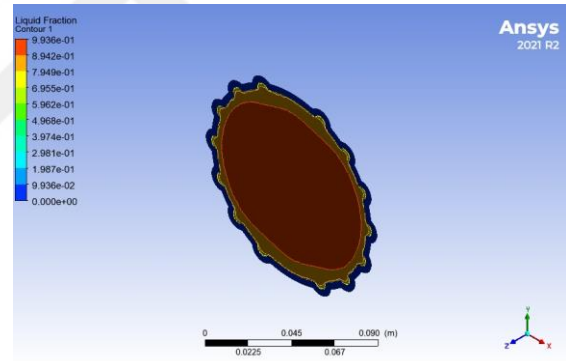
Şekil 3.26.'a bakarak sıcaklık dağılımını incelediğimizde, Şekil 3.26.a'da A kapsülünde yaklaşık 11,3mm cidarlarda $2,68.10^{-2}$ K arttığı gözlemlenmiştir. Şekil 3.26.b'de B kapsülünde yaklaşık 4,5mm cidarlarda $2,681.10^{-2}$ K arttığı, Şekil 3.26.c'de C kapsülünde yaklaşık 9,1mm cidarlarda $2,681.10^{-2}$ K arttığı, Şekil 3.26.d'de D kapsülünde yaklaşık 5mm cidarlarda $2,681.10^{-2}$ K arttığı, Şekil 3.26.e'de E kapsülünde yaklaşık 9,2mm cidarlarda $2,681.10^{-2}$ K arttığı, Şekil 3.26.f'de F kapsülünde yaklaşık 5,9mm cidarlarda $2,681.10^{-2}$ K arttığı tespit edilmiştir.

3.1.14. 4mm Kalınlığındaki Farklı Kapsüllerin Erime Kesitleri ve Sıcaklık Dağılımı Analiz Karşılaştırmaları

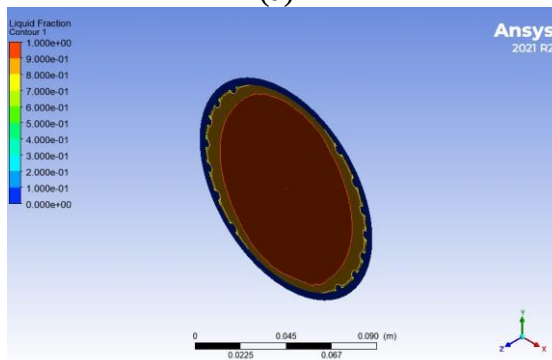
Bu bölümde 4mm kalınlığındaki kapsüllerin farklı kalınlıklarda erime kesitleri ve sıcaklık dağılım durumlarının karşılaştırması yapılmıştır.



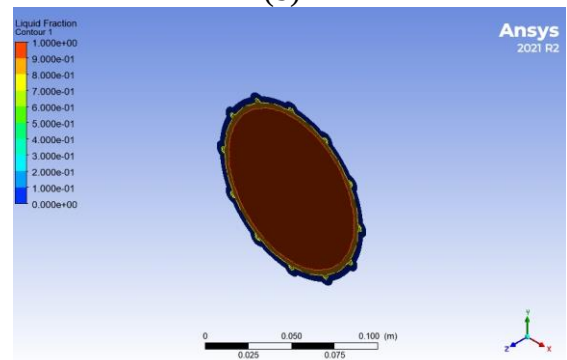
(a)



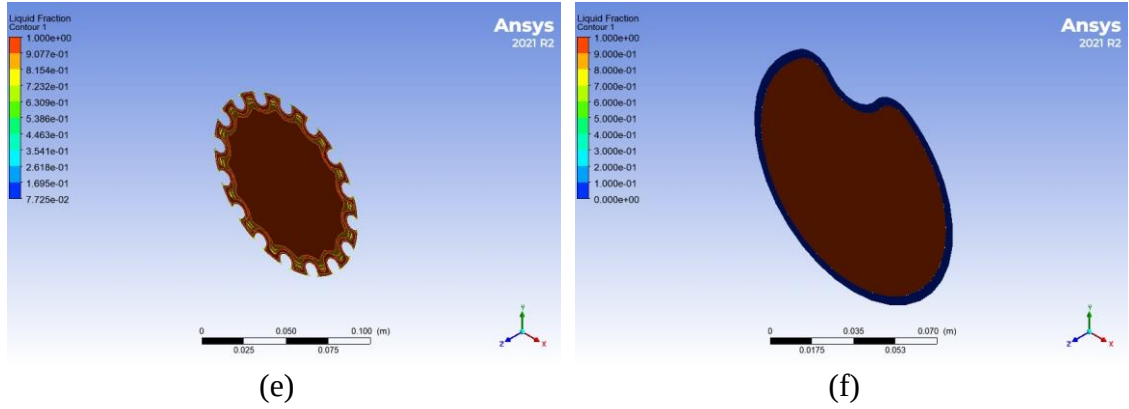
(b)



(c)

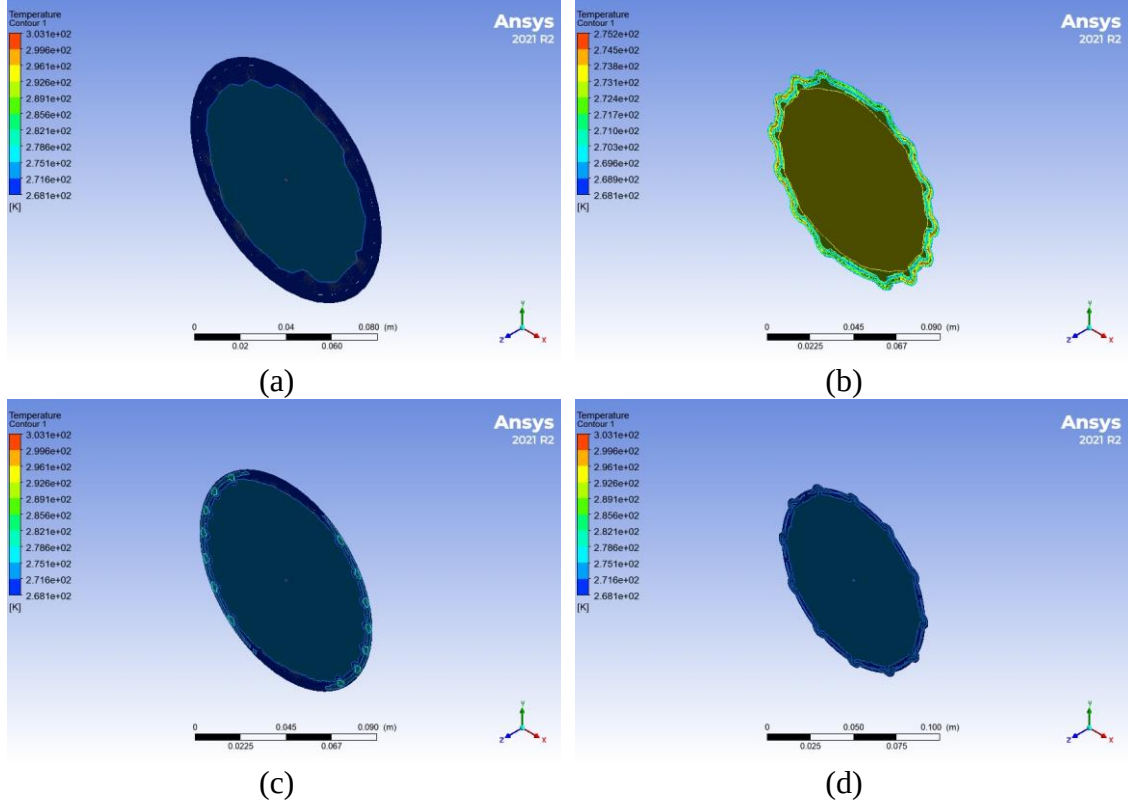


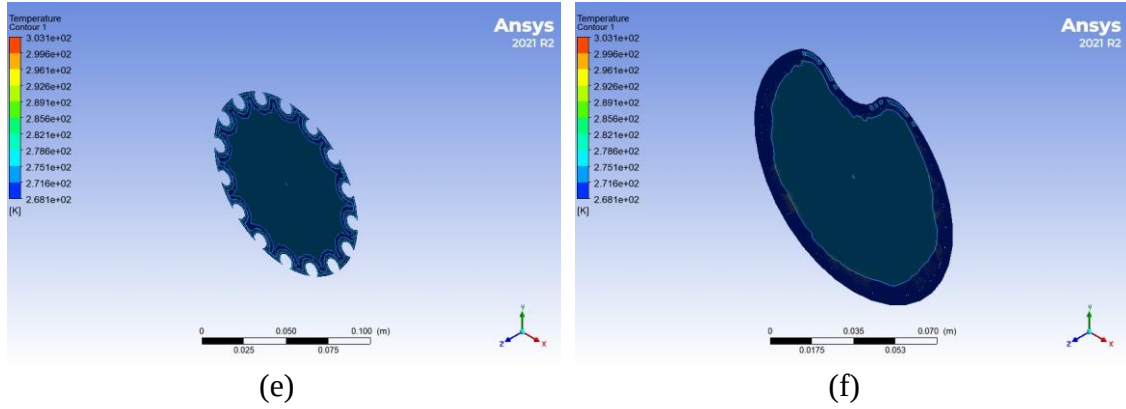
(d)



Şekil 3.27. 4mm kapsüllerinin farklı kalınlıklardaki erime kesiti karşılaştırması a) 4mm A kapsülü b) 4mm B kapsülü c) 4mm C kapsülü d) 4mm D kapsülü e) 4mm E kapsülü f) 4mm F kapsülü

Şekil 3.27.a'da A kapsülünde yaklaşık 6mm başlamıştır. Şekil 3.27.b'de B kapsülünde erime 5mm, Şekil 3.27.c'de C kapsülünde erime 10mm, Şekil 3.27.d'de D kapsülünde erime 10mm, Şekil 3.27.e'de E kapsülünde erime 3mm, Şekil 3.27. f'de F kapsülünde erime 5mm olarak tespit edilmiştir.





Şekil 3.28. 4mm kapsüllerinin farklı kalınlıklardaki sıcaklık dağılımı karşılaştırması a) 4mm A kapsülü b) 4mm B kapsülü c) 4mm C kapsülü d) 4mm D kapsülü e) 4mm E kapsülü f) 4mm F kapsülü

Şekil 3.28.'a bakarak sıcaklık dağılımını incelediğimizde, Şekil 3.28.a'da A kapsülünde yaklaşık 12mm cidarlarda $2,68.10^{-2}$ K arttığı gözlemlenmiştir. Şekil 3.28.b'de B kapsülünde yaklaşık 5mm cidarlarda $2,681.10^{-2}$ K arttığı, Şekil 3.28.c'de C kapsülünde yaklaşık 10mm cidarlarda $2,681.10^{-2}$ K arttığı, Şekil 3.28.d'de D kapsülünde yaklaşık 5mm cidarlarda $2,681.10^{-2}$ K arttığı, Şekil 3.28.e'de E kapsülünde yaklaşık 10mm cidarlarda $2,681.10^{-2}$ K arttığı, Şekil 3.28.f'de F kapsülünde yaklaşık 6,3mm cidarlarda $2,681.10^{-2}$ K arttığı tespit edilmiştir.

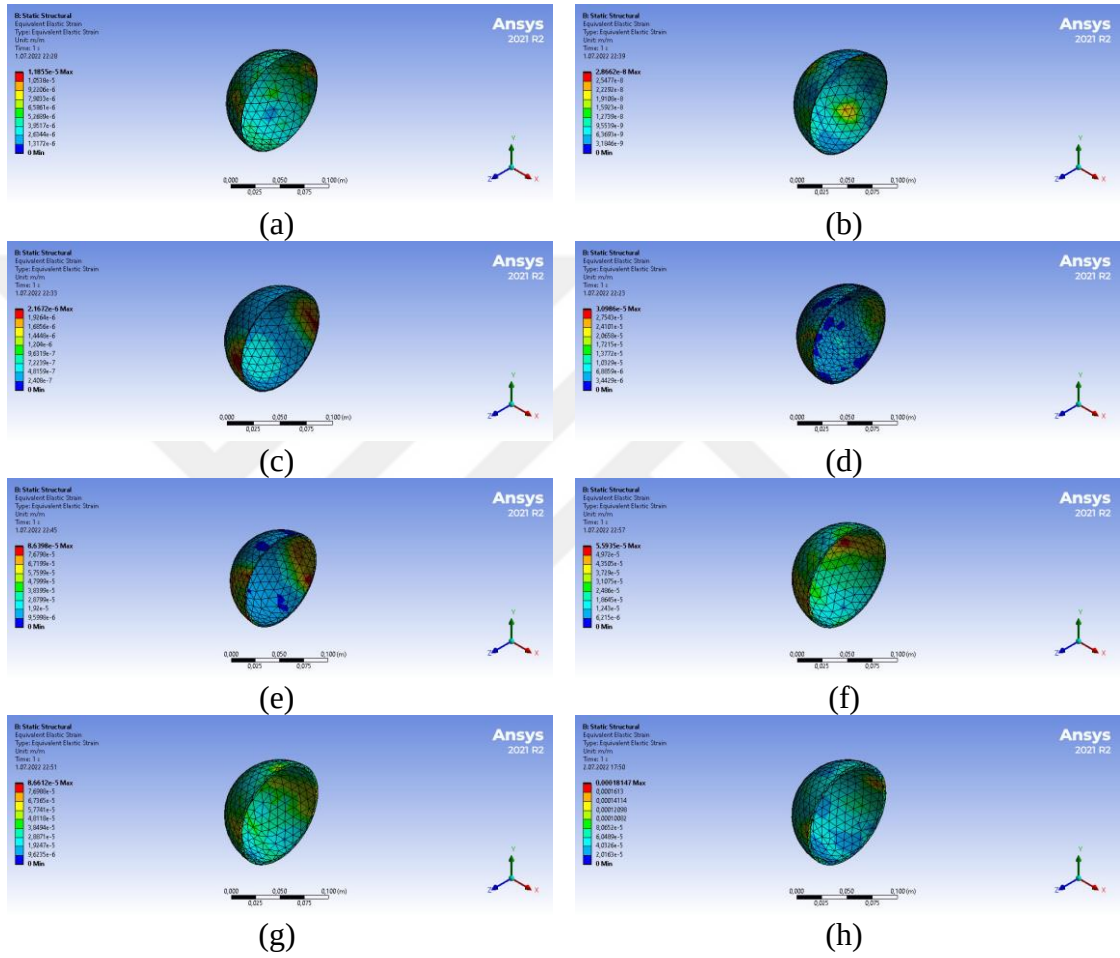
3.2. Gerilim ve Deformasyon Analizleri

Eşdeğer elastik gerilim, yükün kaldırılması üzerine nesnenin geri sıçrayacağı ve orijinal şekline geri döneceği gerilim değerlerinin sınırı olarak tanımlanır. Elastik limit, gerilme-uzama eğrisi üzerinde, nesnenin elastik davranışını plastik davranışa dönüştürdüğü nokta olarak tanımlanır.

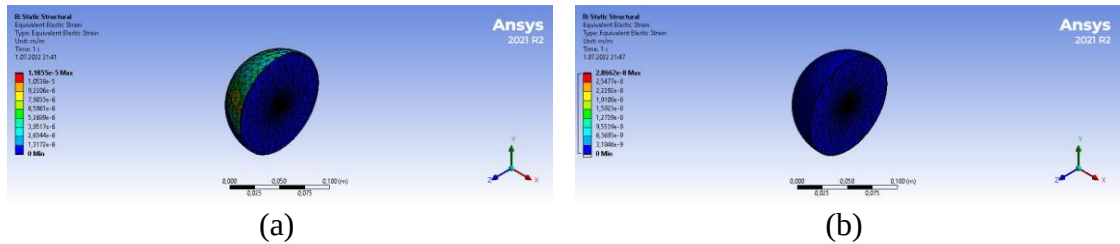
Deformasyon, toplam deformasyon ve yönlü deformasyon olmak üzere iki tiptir. Her iki deformasyon da gerilim yoluyla yer değiştirmeyi bulmak için kullanılır. Yönlü deformasyon, X, Y & Z gibi yönlerde hareket eder. Toplam deformasyon durumunda, X, Y ve Z yönlerinin karelerinin toplamının kareköküdür.

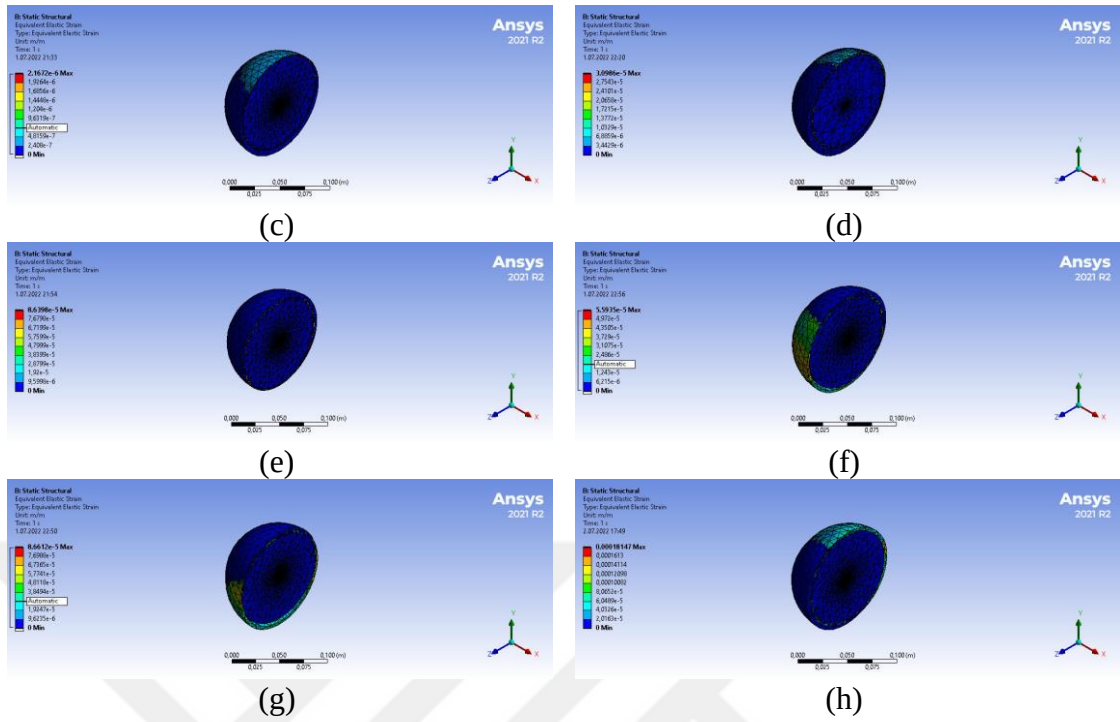
3.2.1. A Kapsülü Gerilim ve Deformasyon Analiz Karşılaştırmaları

Bu bölümde farklı kalınlıklarda A kapsülünün Ansys programında yapılan çalışmalar sonucunda alınan eşdeğer elastik gerinim, deformasyon incelemelerinin kabuk, kesit, bütünsel olarak incelenmiştir.

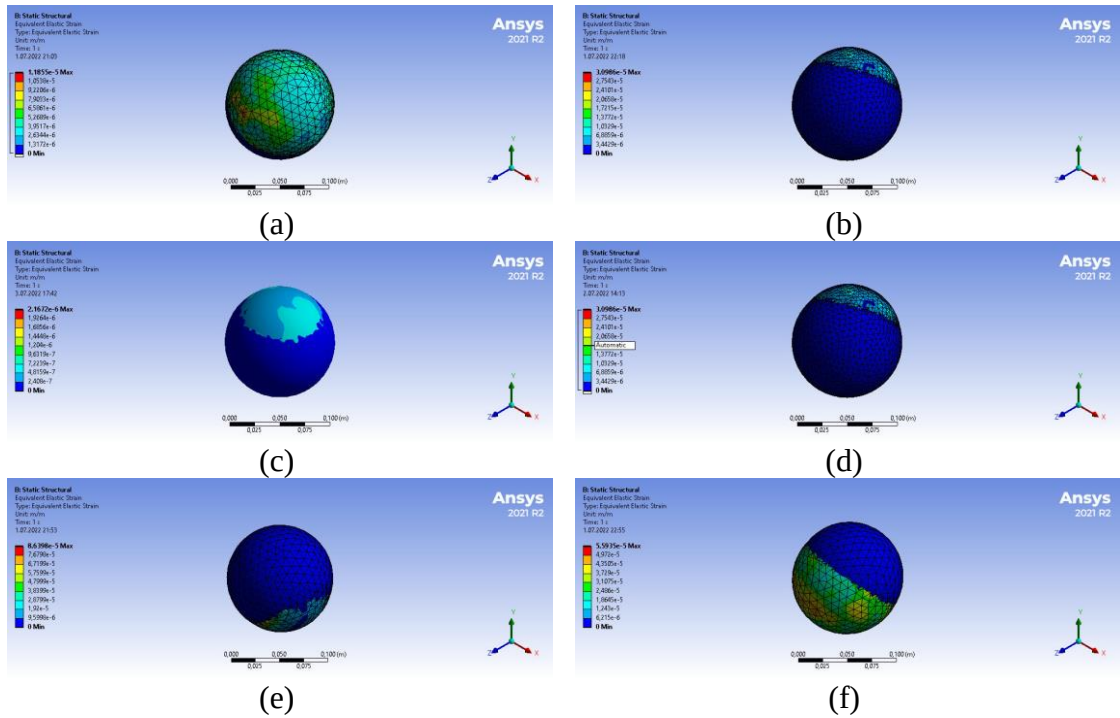


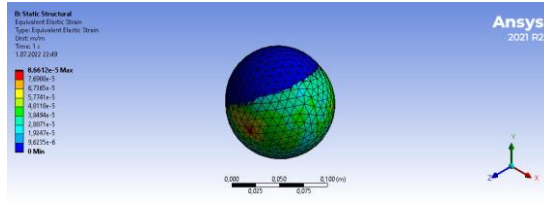
Şekil 3.29. A kapsülünün eşdeğer elastik gerinim kabuk olarak karşılaştırılması a) 0,5mm A kapsülü b) 1mm A kapsülü c) 1,5mm A kapsülü d) 2mm A kapsülü e) 2,5mm A kapsülü f) 3mm A kapsülü g) 3,5mm A kapsülü h) 4mm A kapsülü



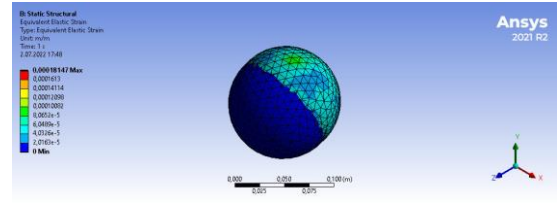


Şekil 3.30. A kapsülünün eşdeğer elastik gerinim kesit olarak karşılaştırılması a) 0,5mm A kapsülü b) 1mm A kapsülü c) 1,5mm A kapsülü d) 2mm A kapsülü e) 2,5mm A kapsülü f) 3mm A kapsülü g) 3,5mm A kapsülü h) 4mm A kapsülü





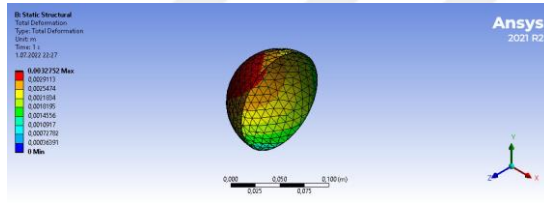
(g)



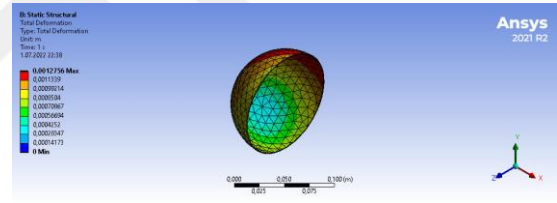
(h)

Şekil 3.31. A kapsülünün eşdeğer elastik gerinim bütünsel olarak karşılaştırılması a) 0,5mm A kapsülü b) 1mm A kapsülü c) 1,5mm A kapsülü d) 2mm A kapsülü e) 2,5mm A kapsülü f) 3mm A kapsülü g) 3,5mm A kapsülü h) 4mm A kapsülü

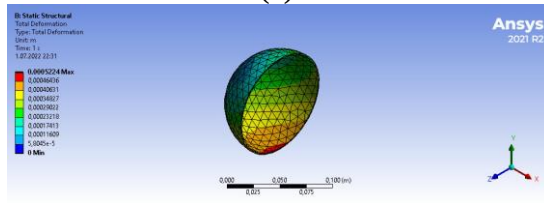
Şekil 3.29., Şekil 3.30., Şekil 3.31.'i incelediğimizde; 0,5mm kapsülde $1,855 \cdot 10^{-5}$ (m/m), 1mm kapsülde $2,8662 \cdot 10^{-8}$ (m/m), 1,5mm kapsülde $2,1672 \cdot 10^{-6}$ (m/m), 2mm kapsülde $3,0896 \cdot 10^{-5}$ (m/m), 2,5mm kapsülde $8,6398 \cdot 10^{-5}$ (m/m), 3mm kapsülde $1,613 \cdot 10^{-4}$ (m/m), 3,5mm kapsülde $8,6612 \cdot 10^{-5}$ (m/m), 4mm kapsülde ise $1,8147 \cdot 10^{-4}$ (m/m) oranda şekil değiştirip tekrar eski haine gelme yeteneğine sahiptir.



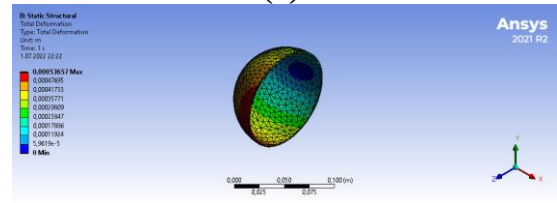
(a)



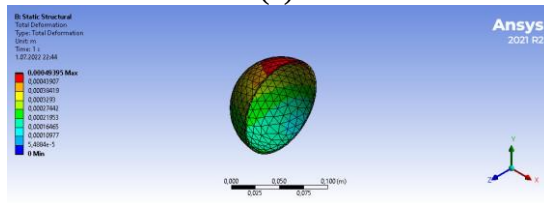
(b)



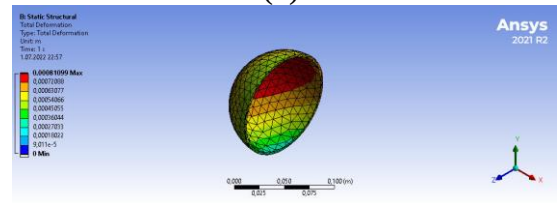
(c)



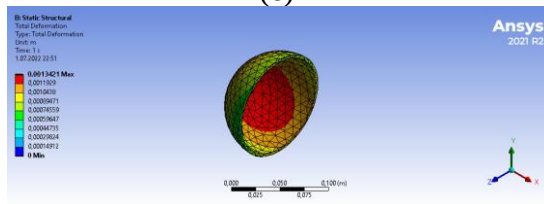
(d)



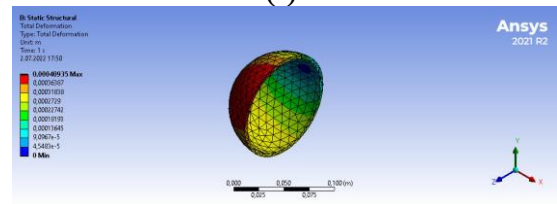
(e)



(f)

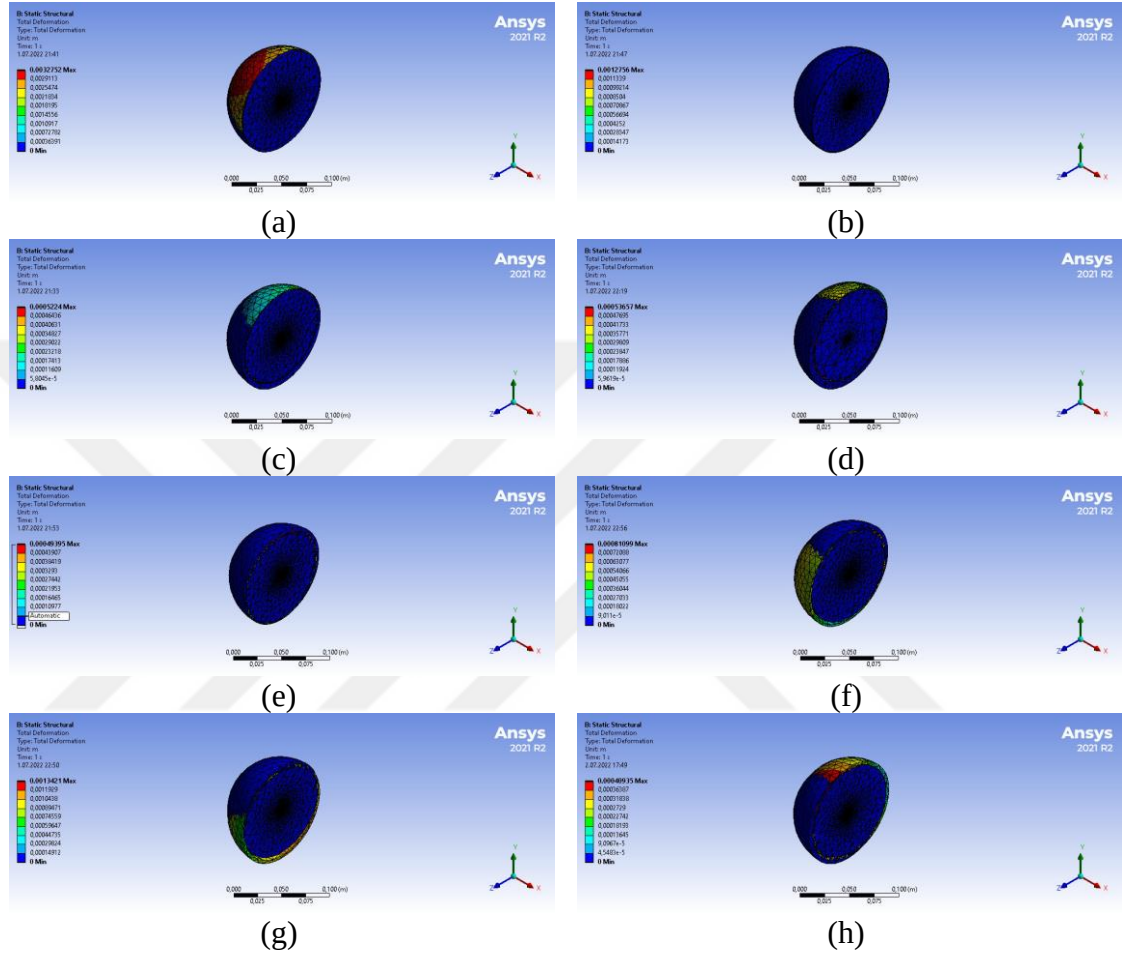


(g)

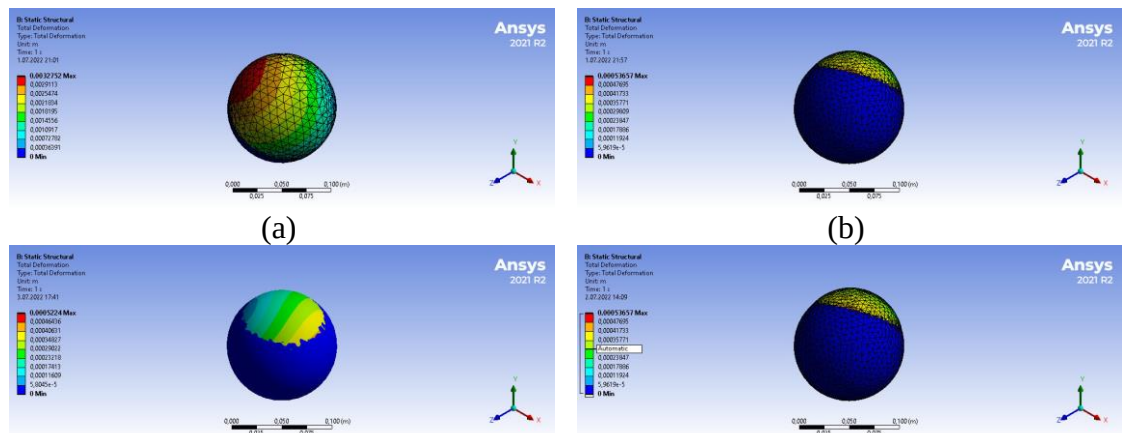


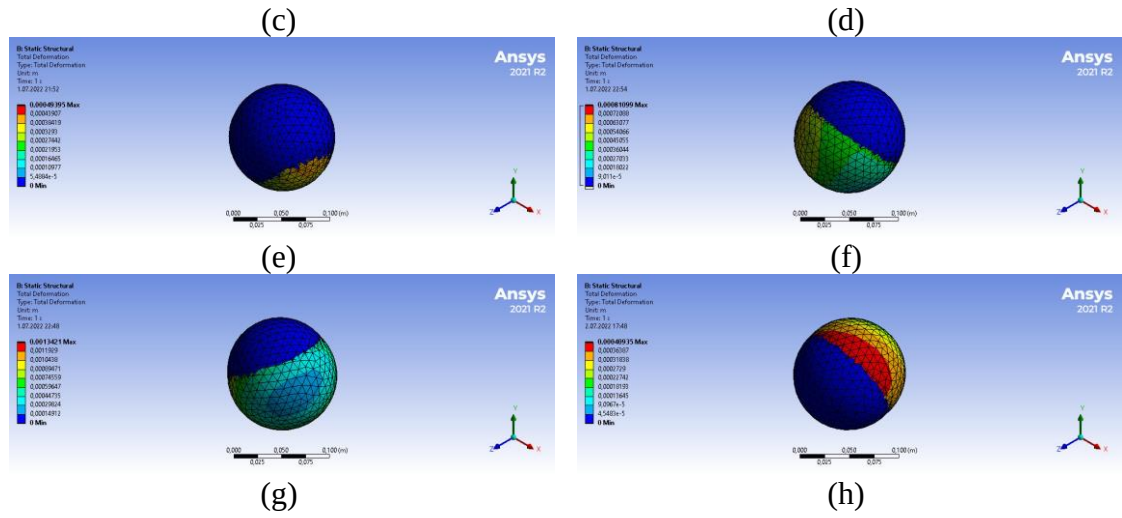
(h)

Şekil 3.32. A kapsülünün deformasyon kabuk olarak karşılaştırılması a) 0,5mm A kapsülü b) 1mm A kapsülü c) 1,5mm A kapsülü d) 2mm A kapsülü e) 2,5mm A kapsülü f) 3mm A kapsülü g) 3,5mm A kapsülü h) 4mm A kapsülü



Şekil 3.33. A kapsülünün deformasyon kesit olarak karşılaştırılması a) 0,5mm A kapsülü b) 1mm A kapsülü c) 1,5mm A kapsülü d) 2mm A kapsülü e) 2,5mm A kapsülü f) 3mm A kapsülü g) 3,5mm A kapsülü h) 4mm A kapsülü



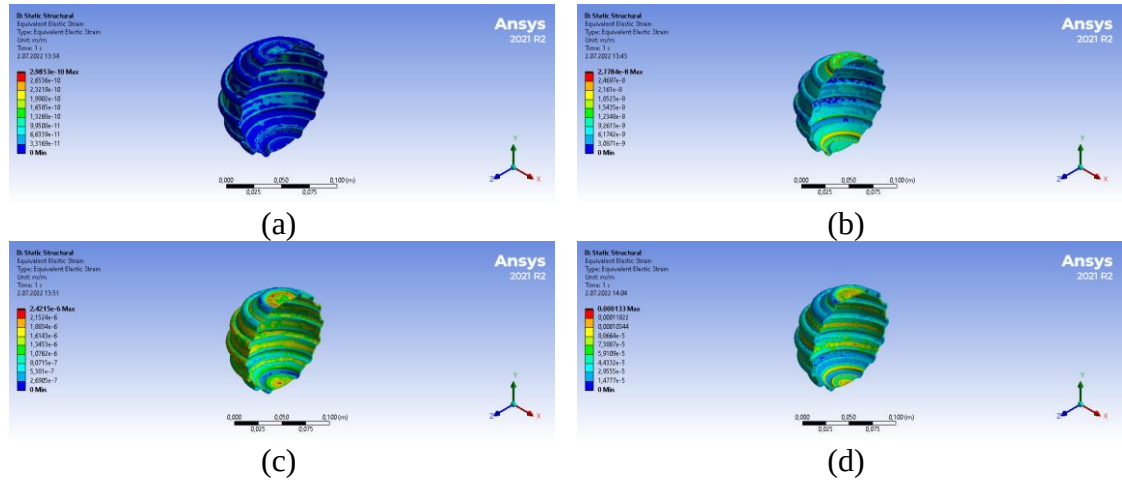


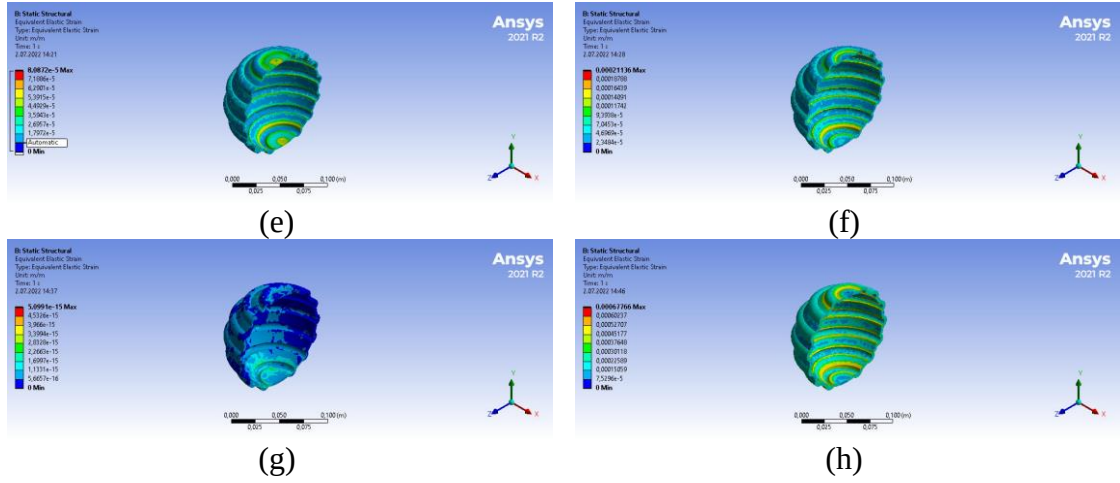
Şekil 3.34. A kapsülünün deformasyon bütünsel olarak karşılaştırılması a) 0,5mm A kapsülü b) 1mm A kapsülü c) 1,5mm A kapsülü d) 2mm A kapsülü e) 2,5mm A kapsülü f) 3mm A kapsülü g) 3,5mm A kapsülü h) 4mm A kapsülü

Şekil 3.31., Şekil 3.32., Şekil 3.33.'ü incelediğimizde; 0,5mm kapsülde $3,2752 \cdot 10^{-4}m$, 1mm kapsülde, 1,5mm kapsülde $5,224 \cdot 10^{-4}m$, 2mm kapsülde $4,0935 \cdot 10^{-4}m$, 2,5mm kapsülde $4,0935 \cdot 10^{-4}m$, 3mm kapsülde $8,1099 \cdot 10^{-3}m$, 3,5mm kapsülde $1,3421 \cdot 10^{-4}m$, 4mm kapsülde $4,0935 \cdot 10^{-3}m$ mesafesinde deformasyona uğramıştır.

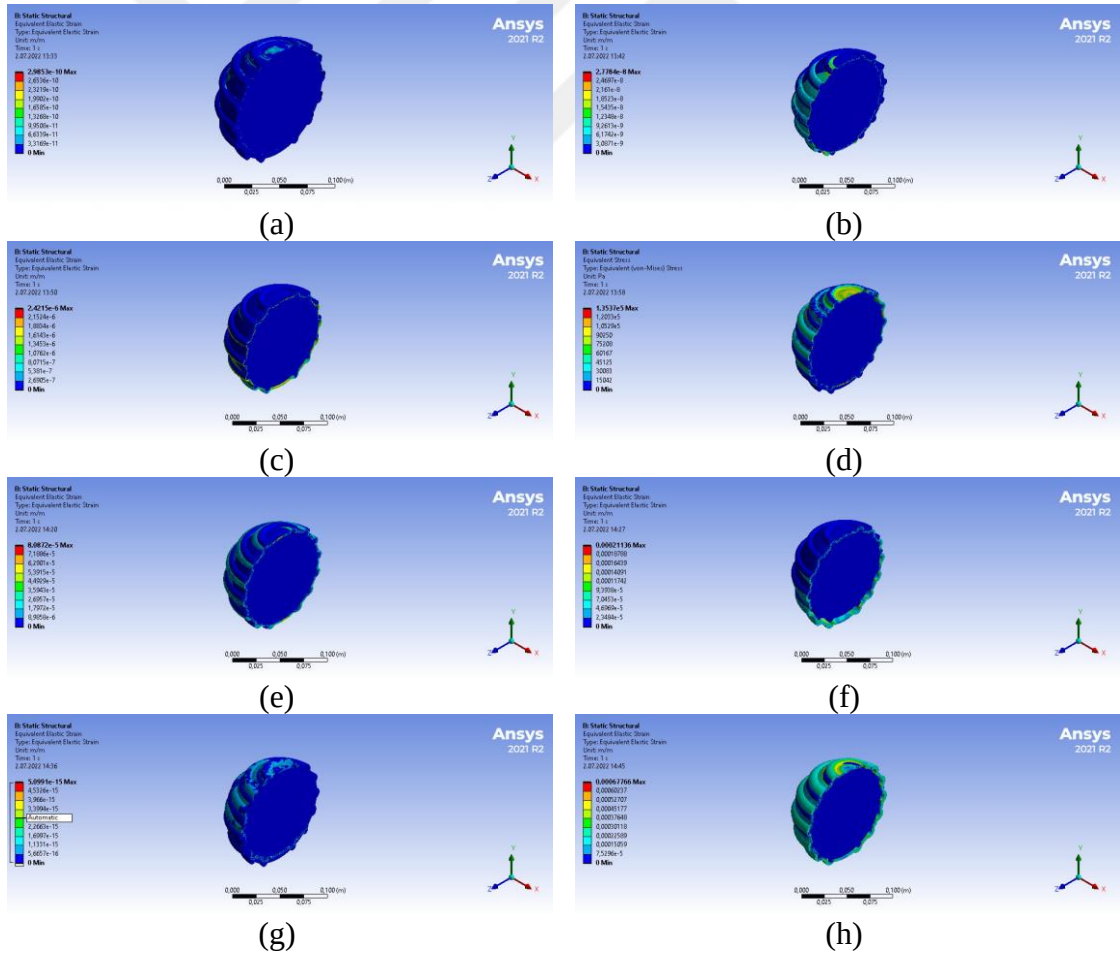
3.2.2. B Kapsülü Gerilim ve Deformasyon Analiz Karşılaştırmaları

Bu bölümde farklı kalınlıklarda B kapsülünün Ansys programında yapılan çalışmalar sonucunda alınan eşdeğer elastik gerinim, deformasyon incelemelerinin kabuk, kesit, bütünsel olarak incelenmiştir.

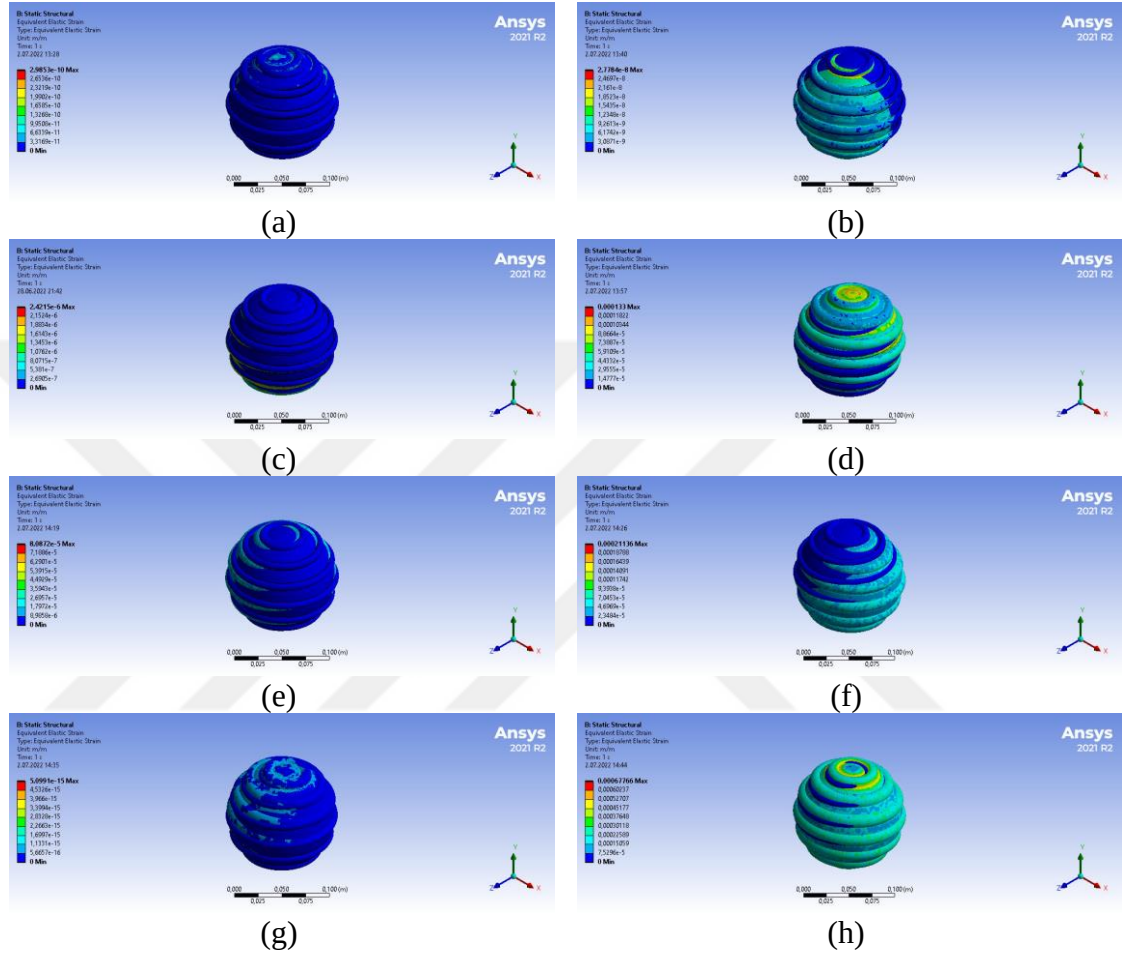




Şekil 3.35. B kapsülünün eşdeğer elastik gerinim kabuk olarak karşılaştırılması a) 0,5mm B kapsülü b) 1mm B kapsülü c) 1,5mm B kapsülü d) 2mm B kapsülü e) 2,5mm B kapsülü f) 3mm B kapsülü g) 3,5mm B kapsülü h) 4mm B kapsülü

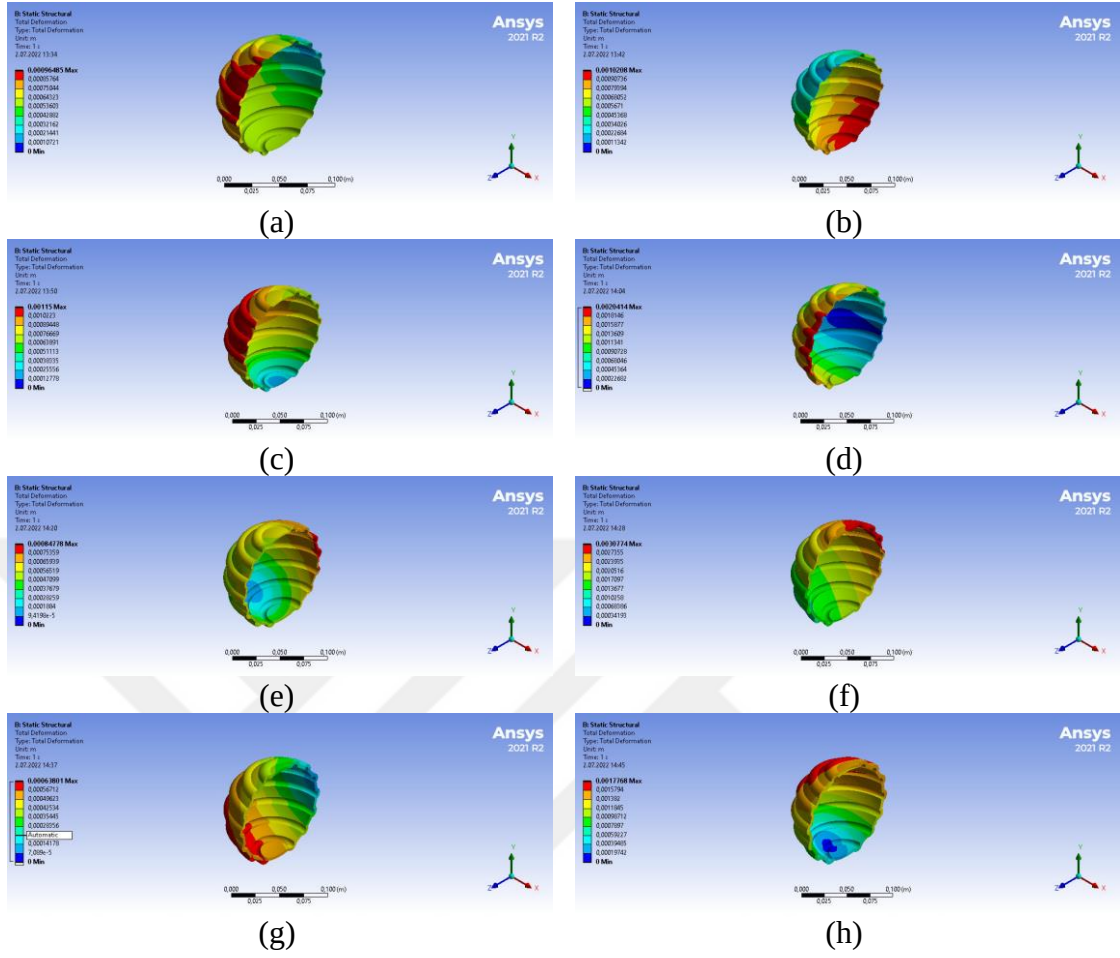


Şekil 3.36. B kapsülünün eşdeğer elastik gerinim kesit olarak karşılaştırılması a) 0,5mm B kapsülü b) 1mm B kapsülü c) 1,5mm B kapsülü d) 2mm B kapsülü e) 2,5mm B kapsülü f) 3mm B kapsülü g) 3,5mm B kapsülü h) 4mm B kapsülü

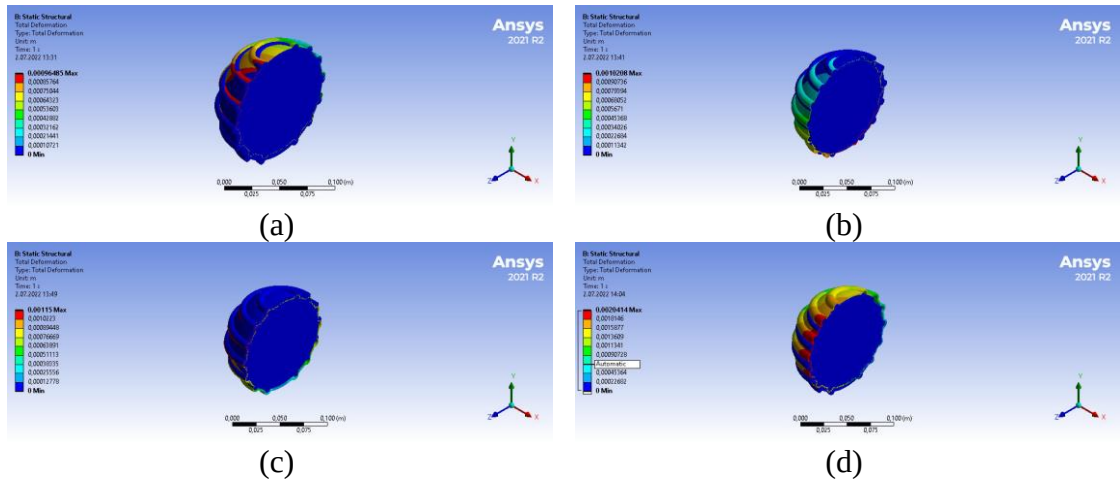


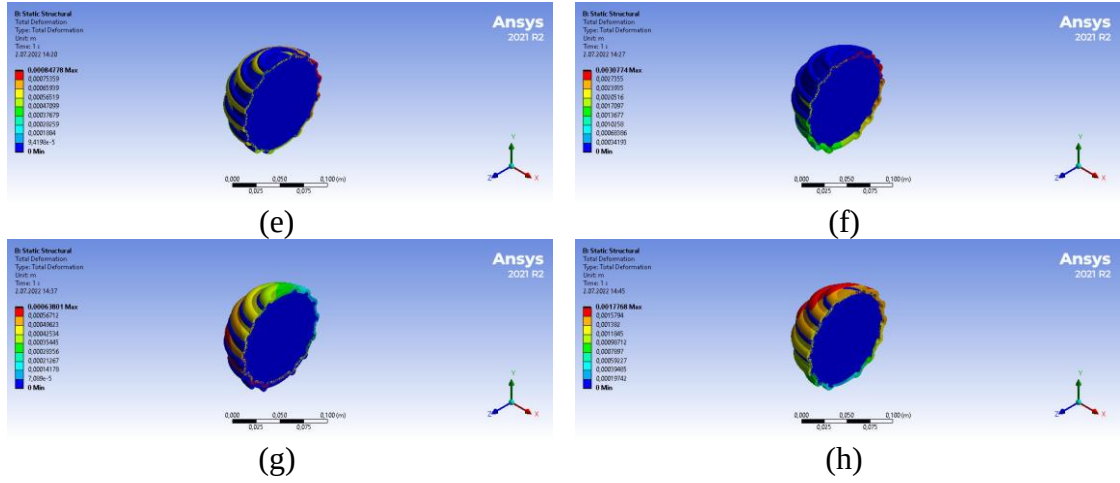
Şekil 3.37. B kapsülünün eşdeğer elastik gerinim bütünsel olarak karşılaştırılması a) 0,5mm B kapsülü b) 1mm B kapsülü c) 1,5mm B kapsülü d) 2mm B kapsülü e) 2,5mm B kapsülü f) 3mm B kapsülü g) 3,5mm B kapsülü h) 4mm B kapsülü

Şekil 3.35., Şekil 3.36., Şekil 3.37.'i incelediğimizde; 0,5mm kapsülde $2,9863 \cdot 10^{-10}$ (m/m), 1mm kapsülde $2,8784 \cdot 10^{-8}$ (m/m), 1,5mm kapsülde $2,4215 \cdot 10^{-6}$ (m/m), 2mm kapsülde $1,33 \cdot 10^{-4}$ (m/m), 2,5mm kapsülde $8,0872 \cdot 10^{-5}$ (m/m), 3mm kapsülde $2,1136 \cdot 10^{-4}$ (m/m), 3,5mm kapsülde $5,0991 \cdot 10^{-5}$ (m/m), 4mm kapsülde ise $6,7766 \cdot 10^{-4}$ (m/m) oranda şekil değiştirip tekrar eski haine gelme yeteneğine sahiptir.

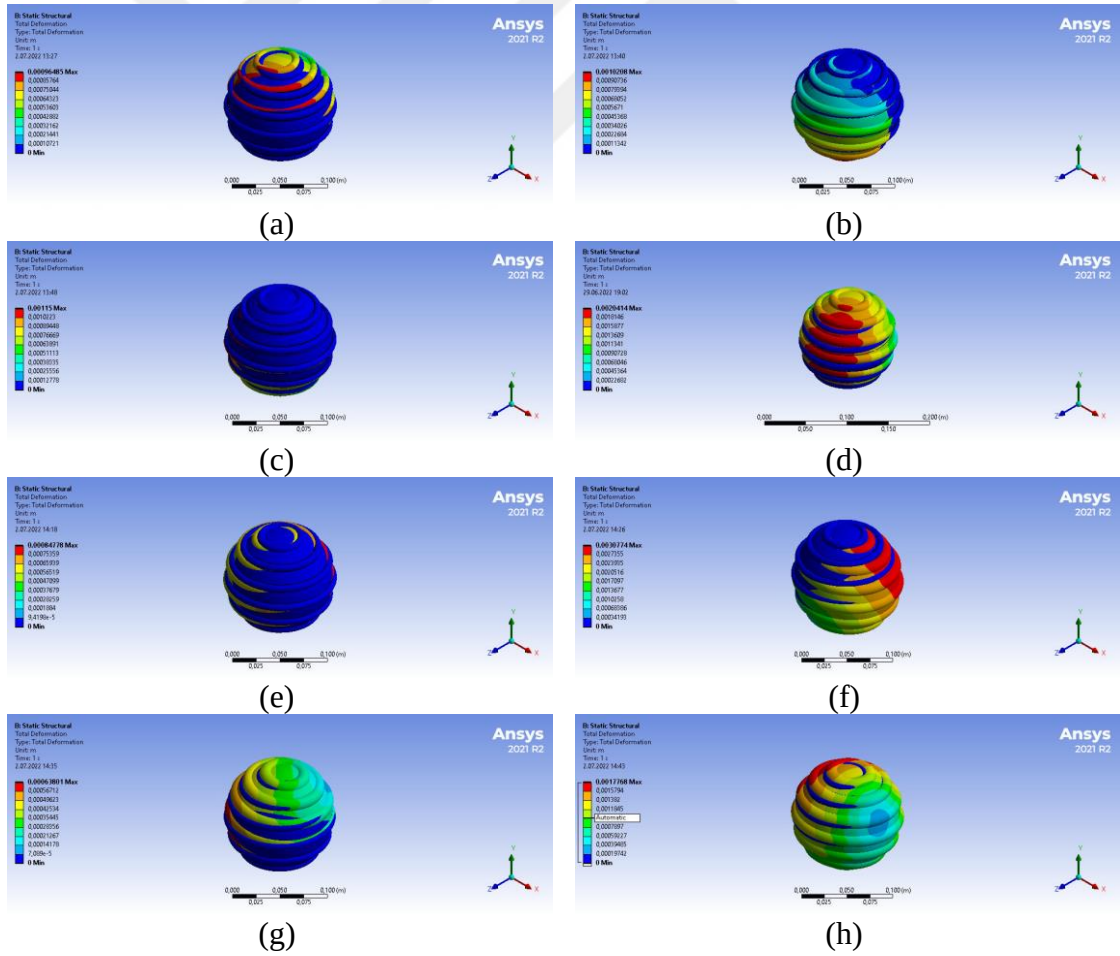


Şekil 3.38. B kapsülünün deformasyon kabuk olarak karşılaştırılması a) 0,5mm B kapsülü b) 1mm B kapsülü c) 1,5mm B kapsülü d) 2mm B kapsülü e) 2,5mm B kapsülü f) 3mm B kapsülü g) 3,5mm B kapsülü h) 4mm B kapsülü





Şekil 3.39. B kapsülünün deformasyon kesit olarak karşılaştırılması a) 0,5mm B kapsülü b) 1mm B kapsülü c) 1,5mm B kapsülü d) 2mm B kapsülü e) 2,5mm B kapsülü f) 3mm B kapsülü g) 3,5mm B kapsülü h) 4mm B kapsülü

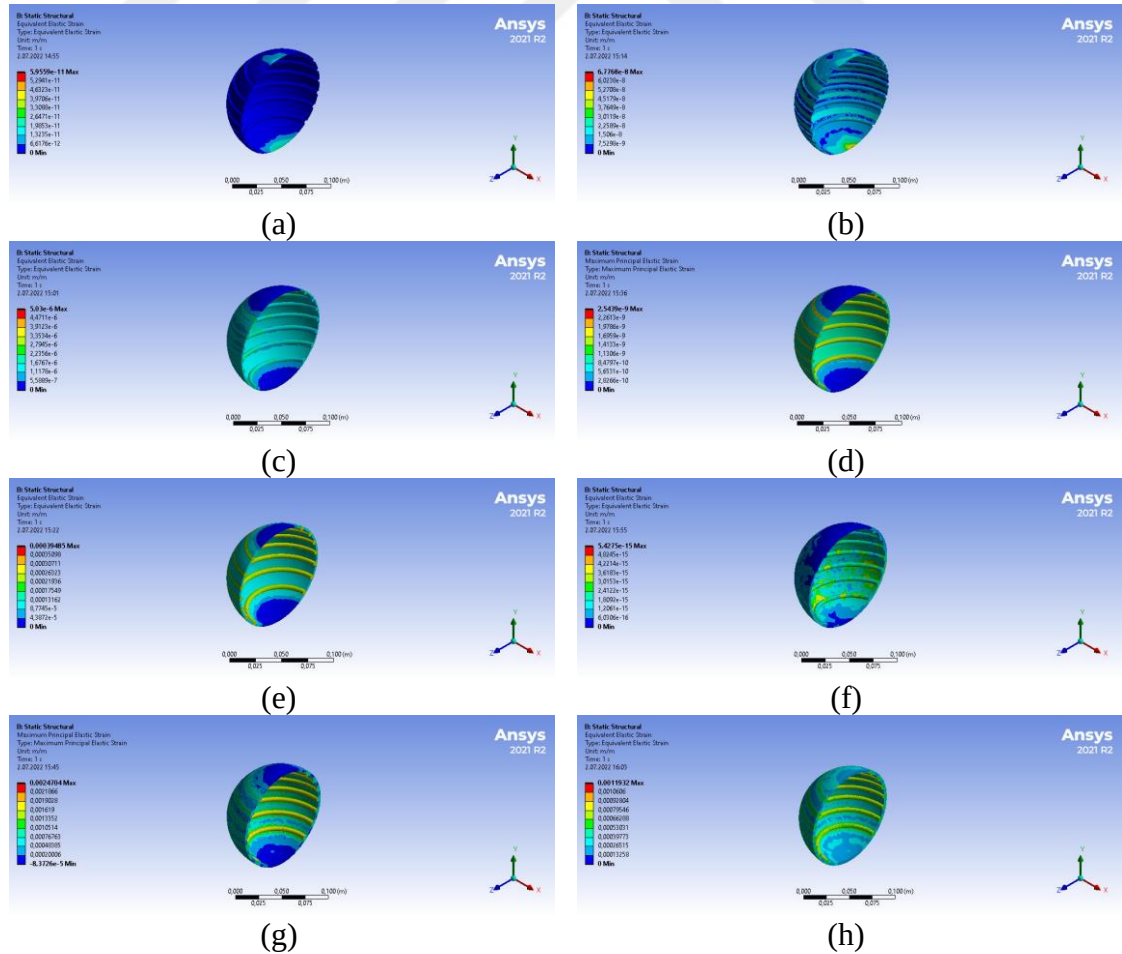


Şekil 3.40. B kapsülünün deformasyon bütünsel olarak karşılaştırılması a) 0,5mm B kapsülü b) 1mm B kapsülü c) 1,5mm B kapsülü d) 2mm B kapsülü e) 2,5mm B kapsülü f) 3mm B kapsülü g) 3,5mm B kapsülü h) 4mm B kapsülü

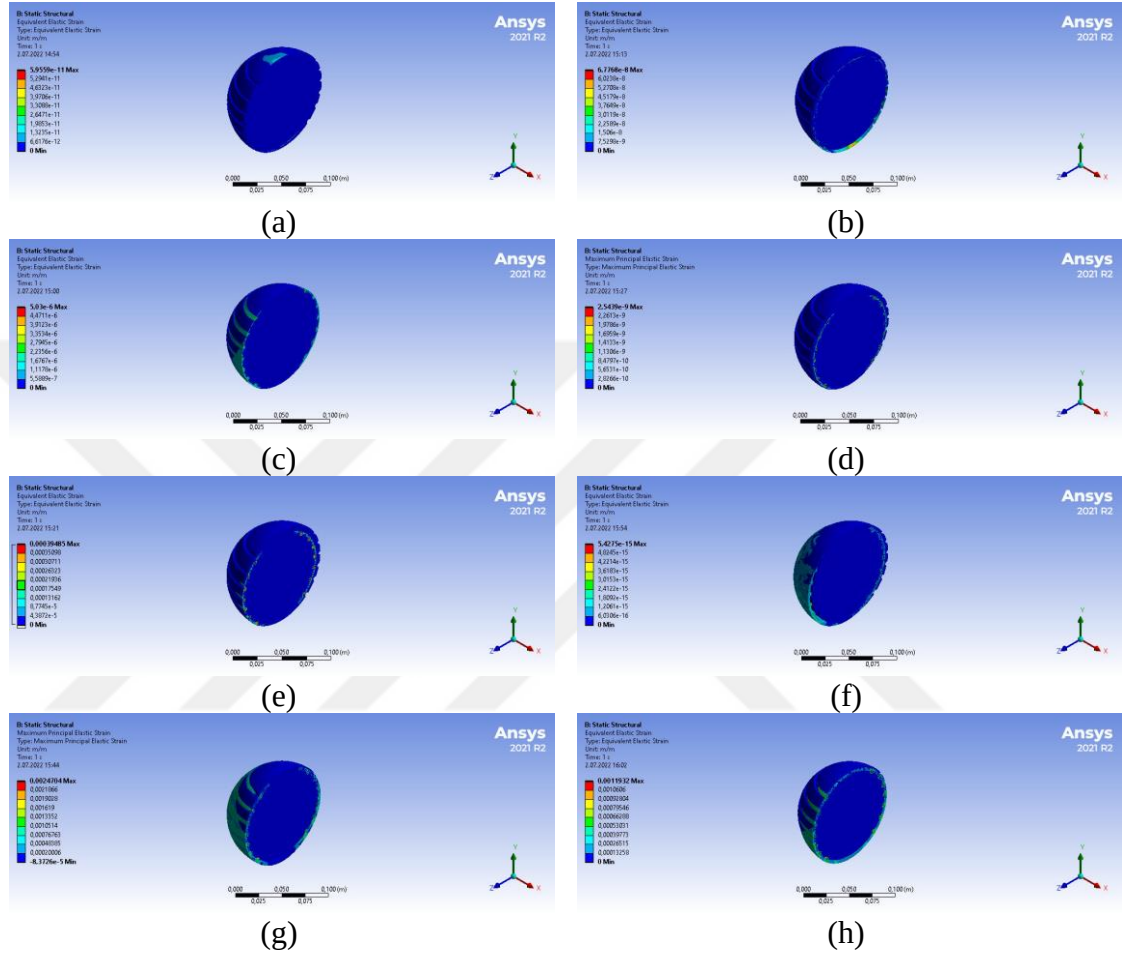
Şekil 3.38., Şekil 3.39., Şekil 3.40.'ü incelediğimizde; 0,5mm kapsülde $9,6485 \cdot 10^{-4}$ m, 1mm kapsülde $1,0208 \cdot 10^{-3}$ m, 1,5mm kapsülde $1,15 \cdot 10^{-3}$ m mesafesinde deformasyona uğramıştır. 2mm kapsülde $2,0414 \cdot 10^{-3}$ m mesafesinde deformasyona uğramıştır. 2,5mm kapsülde $8,4778 \cdot 10^{-4}$ m mesafesinde deformasyona uğramıştır. 3mm kapsülde $3,0774 \cdot 10^{-3}$ m, 3,5mm kapsülde $6,3801 \cdot 10^{-4}$ m, 4mm ise kapsülde $1,7768 \cdot 10^{-3}$ m mesafesinde deformasyona uğramıştır.

3.2.3. C Kapsülü Gerilim ve Deformasyon Analiz Karşılaştırmaları

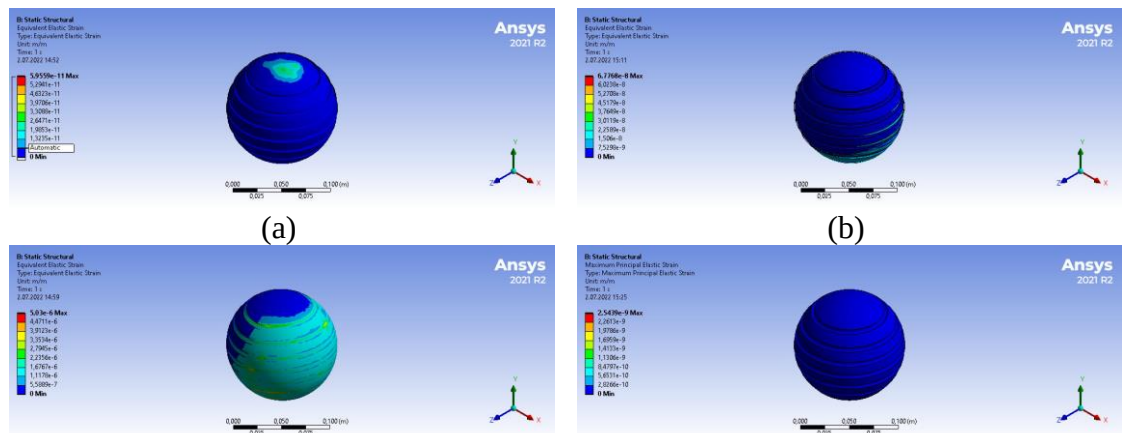
Bu bölümde farklı kalınlıklarda C kapsülünün Ansys programında yapılan çalışmalar sonucunda alınan eşdeğer elastik gerilim, deformasyon incelemelerinin kabuk, kesit, bütünsel olarak incelenmiştir.

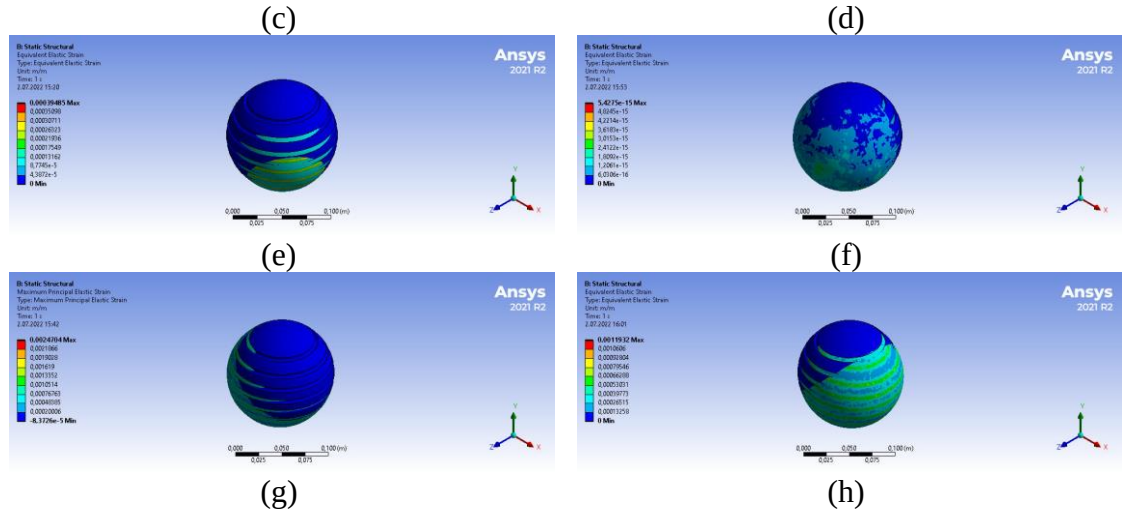


Şekil 3.41. C kapsülünün eşdeğer elastik gerinim kabuk olarak karşılaştırılması a) 0,5mm C kapsülü b) 1mm C kapsülü c) 1,5mm C kapsülü d) 2mm C kapsülü e) 2,5mm C kapsülü f) 3mm C kapsülü g) 3,5mm C kapsülü h) 4mm C kapsülü



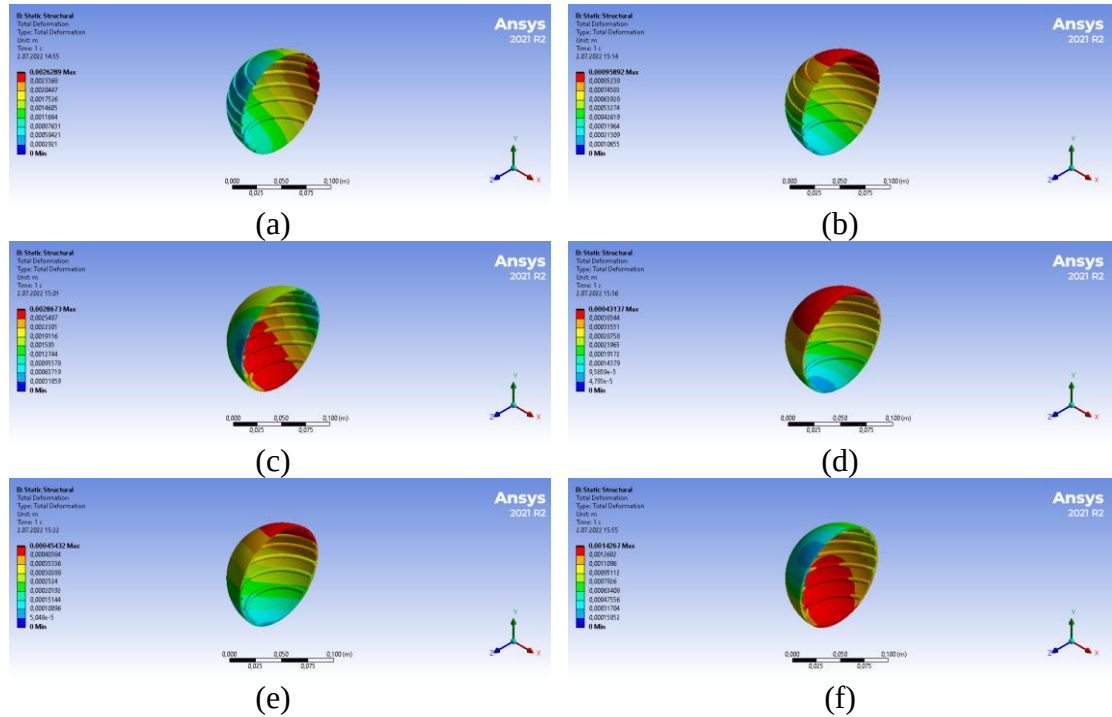
Şekil 3.42. C kapsülünün eşdeğer elastik gerinim kesit olarak karşılaştırılması a) 0,5mm C kapsülü b) 1mm C kapsülü c) 1,5mm C kapsülü d) 2mm C kapsülü e) 2,5mm C kapsülü f) 3mm C kapsülü g) 3,5mm C kapsülü h) 4mm C kapsülü

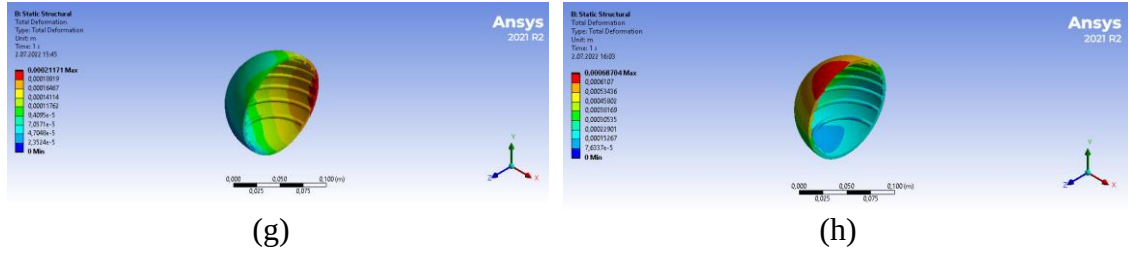




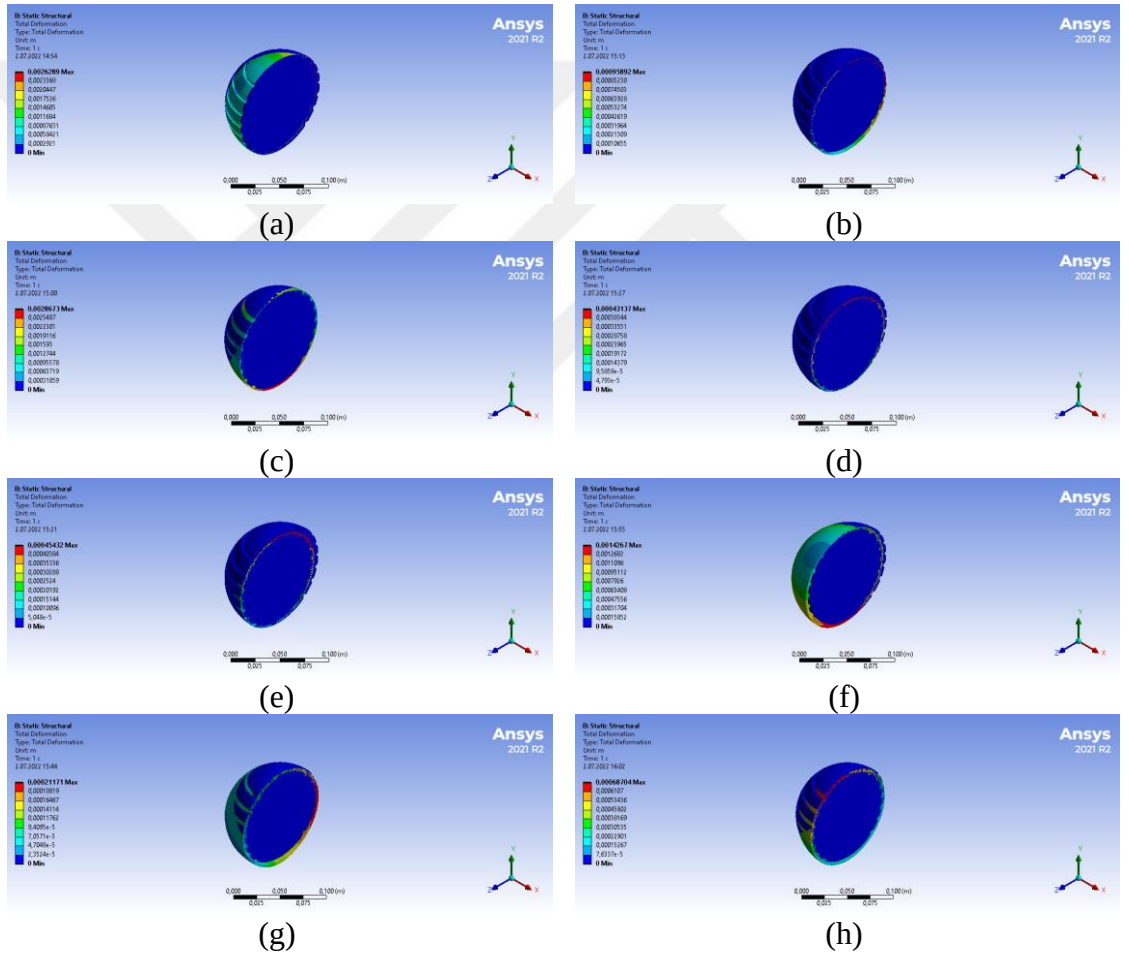
Şekil 3.43. C kapsülünün eşdeğer elastik gerinim bütünsel olarak karşılaştırılması a) 0,5mm C kapsülü b) 1mm C kapsülü c) 1,5mm C kapsülü d) 2mm C kapsülü e) 2,5mm C kapsülü f) 3mm C kapsülü g) 3,5mm C kapsülü h) 4mm C kapsülü

Şekil 3.41., Şekil 3.42., Şekil 3.43.'ü incelediğimizde; 0,5mm kapsülde $5,9559 \cdot 10^{-11}$ (m/m), 1mm kapsülde $6,7668 \cdot 10^{-8}$ (m/m), 1,5mm kapsülde $5,03 \cdot 10^{-6}$ (m/m), 2mm kapsülde $2,5439 \cdot 10^{-9}$ (m/m), 2,5mm kapsülde $3,9485 \cdot 10^{-4}$ (m/m), 3mm kapsülde $5,4275 \cdot 10^{-15}$ (m/m), 3,5mm kapsülde $2,4704 \cdot 10^{-3}$ (m/m), 4mm kapsülde ise $1,1932 \cdot 10^{-3}$ (m/m) oranda şekil değiştirip tekrar eski haine gelme yeteneğine sahiptir.

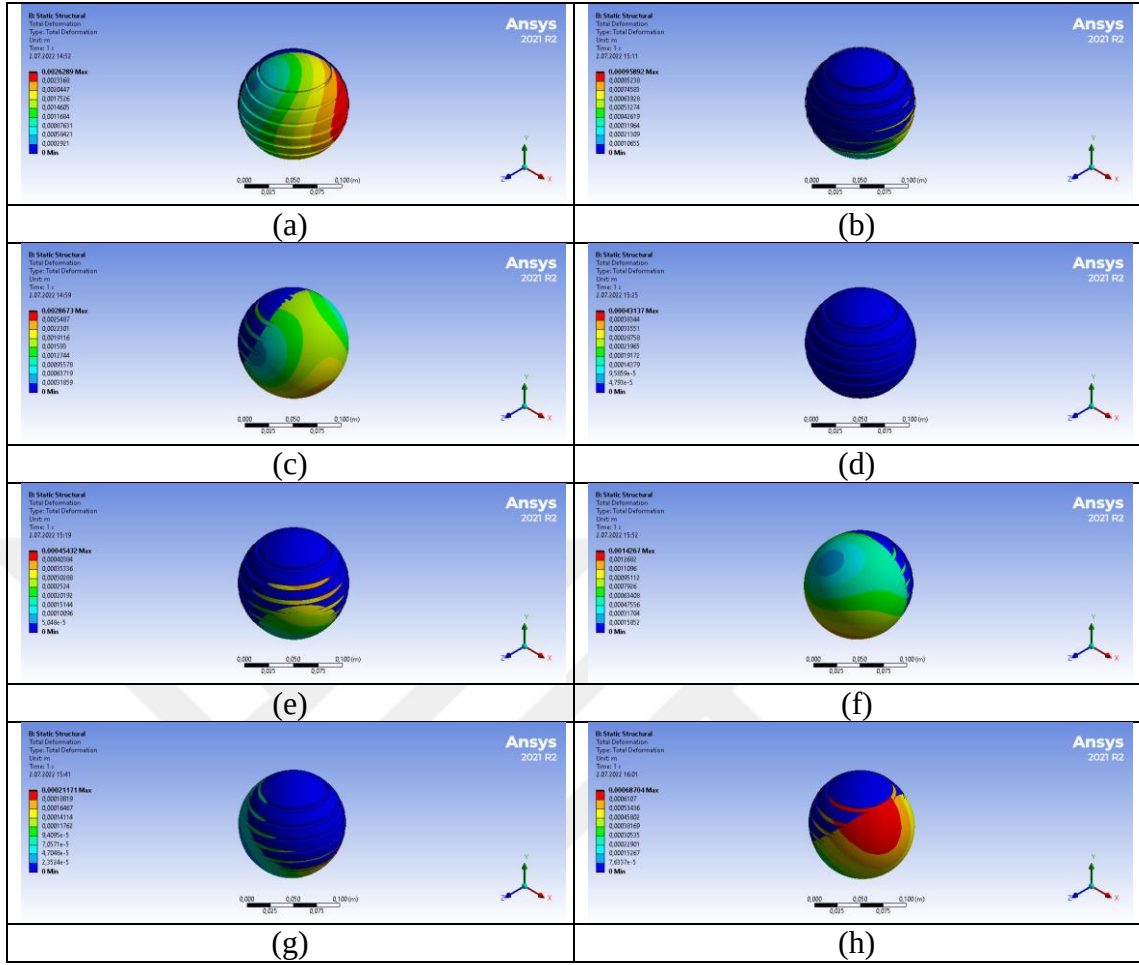




Şekil 3.44. C kapsülünün deformasyon kabuk olarak karşılaştırılması a) 0,5mm C kapsülü b) 1mm C kapsülü c) 1,5mm C kapsülü d) 2mm C kapsülü e) 2,5mm C kapsülü f) 3mm C kapsülü g) 3,5mm C kapsülü h) 4mm C kapsülü



Şekil 3.45. C kapsülünün deformasyon kesit olarak karşılaştırılması a) 0,5mm C kapsülü b) 1mm C kapsülü c) 1,5mm C kapsülü d) 2mm C kapsülü e) 2,5mm C kapsülü f) 3mm C kapsülü g) 3,5mm C kapsülü h) 4mm C kapsülü

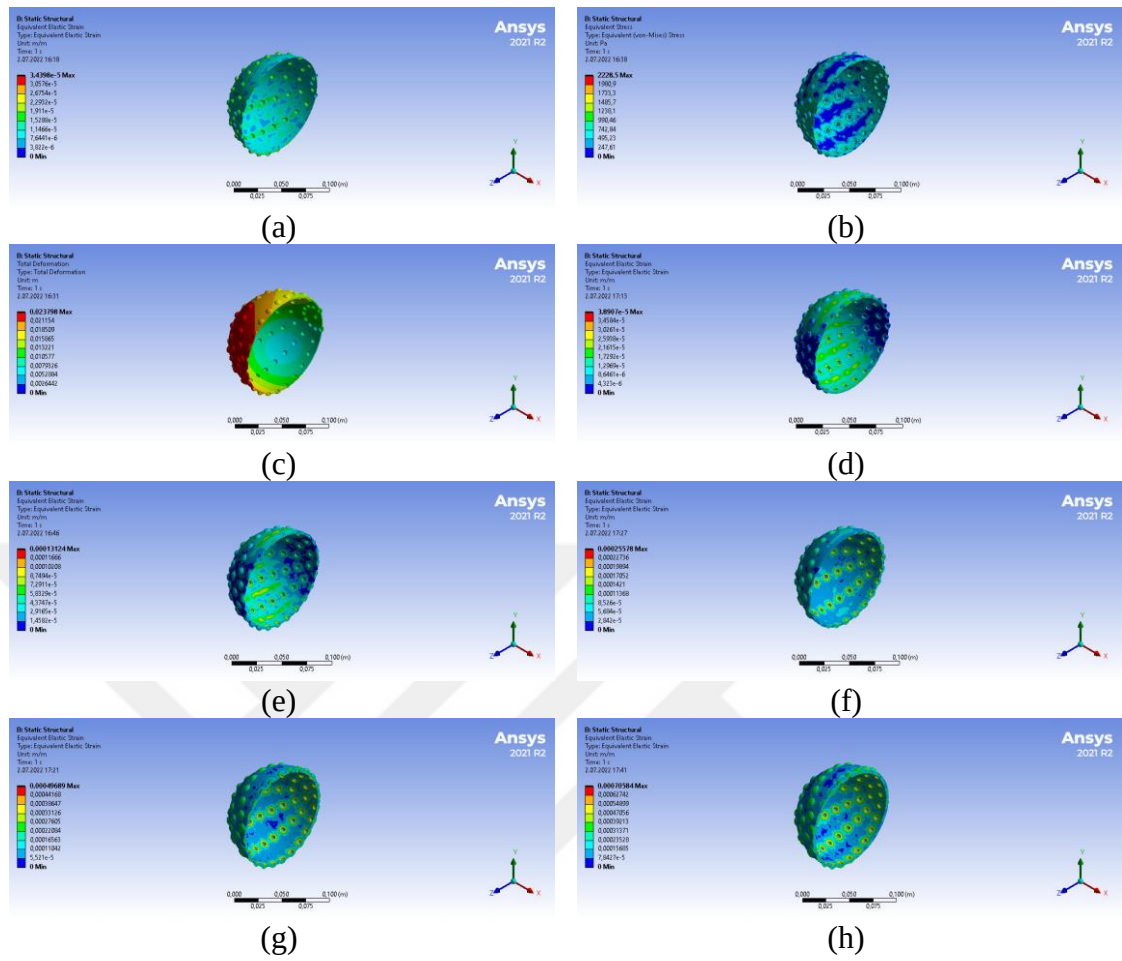


Şekil 3.46. C kapsülünün deformasyon bütünsel olarak karşılaştırılması a) 0,5mm C kapsülü b) 1mm C kapsülü c) 1,5mm C kapsülü d) 2mm C kapsülü e) 2,5mm C kapsülü f) 3mm C kapsülü g) 3,5mm C kapsülü h) 4mm C kapsülü

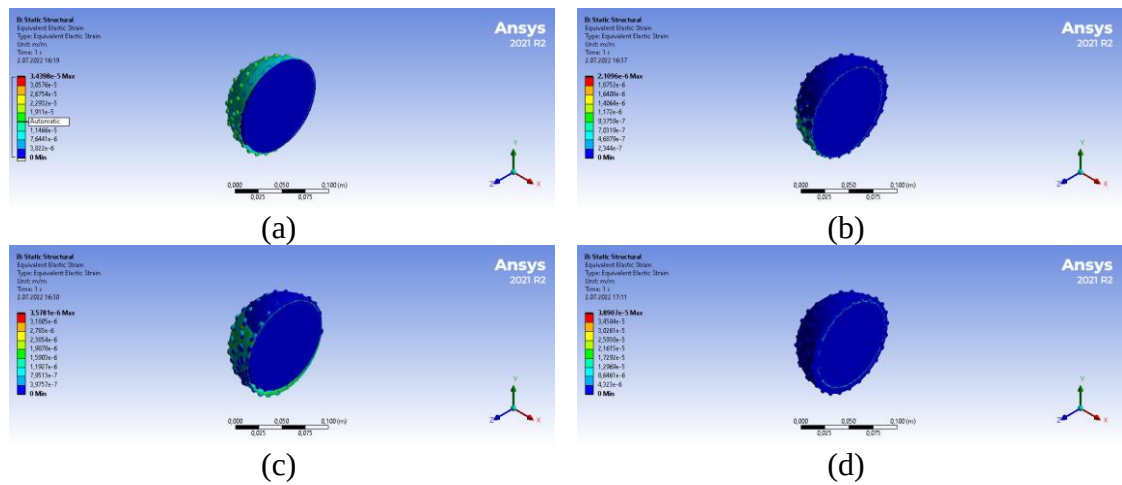
Şekil 3.44., Şekil 3.45., Şekil 3.46.'ü incelediğimizde; 0,5mm kapsülde $2,6289 \cdot 10^{-3}$ m, 1mm kapsülde $9,5892 \cdot 10^{-4}$ m, 1,5mm kapsülde $2,8673 \cdot 10^{-4}$ m, 2mm kapsülde $4,3137 \cdot 10^{-4}$ m, 2,5mm kapsülde $4,5432 \cdot 10^{-4}$ m, 3mm kapsülde $1,4267 \cdot 10^{-3}$ m, 3,5mm kapsülde $2,1171 \cdot 10^{-4}$ m, 4mm ise kapsülde $6,8704 \cdot 10^{-4}$ m mesafesinde deformasyona uğramıştır.

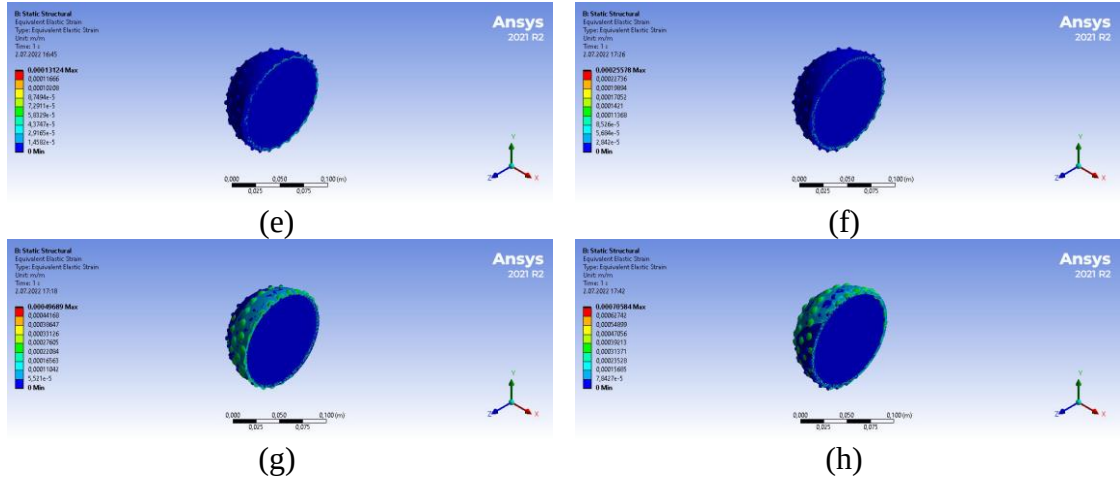
3.2.4. D Kapsülü Gerilim ve Deformasyon Analiz Karşılaştırmaları

Bu bölümde farklı kalınlıklarda D kapsülünün Ansys programında yapılan çalışmalar sonucunda alınan eşdeğer elastik gerilim, deformasyon incelemelerinin kabuk, kesit, bütünsel olarak incelenmiştir.

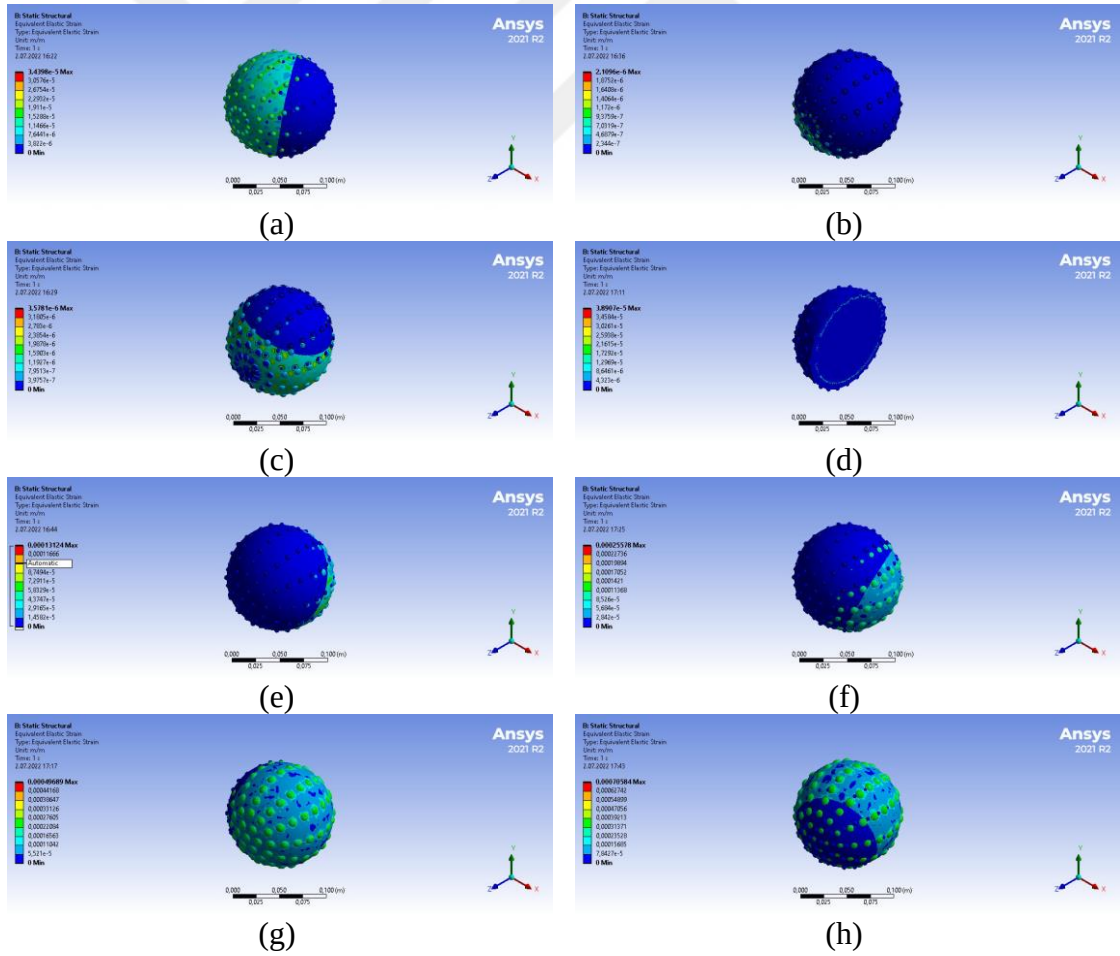


Şekil 3.47. D kapsülünün eşdeğer elastik gerinim kabuk olarak karşılaştırılması a) 0,5mm D kapsülü b) 1mm D kapsülü c) 1,5mm D kapsülü d) 2mm D kapsülü e) 2,5mm D kapsülü f) 3mm D kapsülü g) 3,5mm D kapsülü h) 4mm D kapsülü



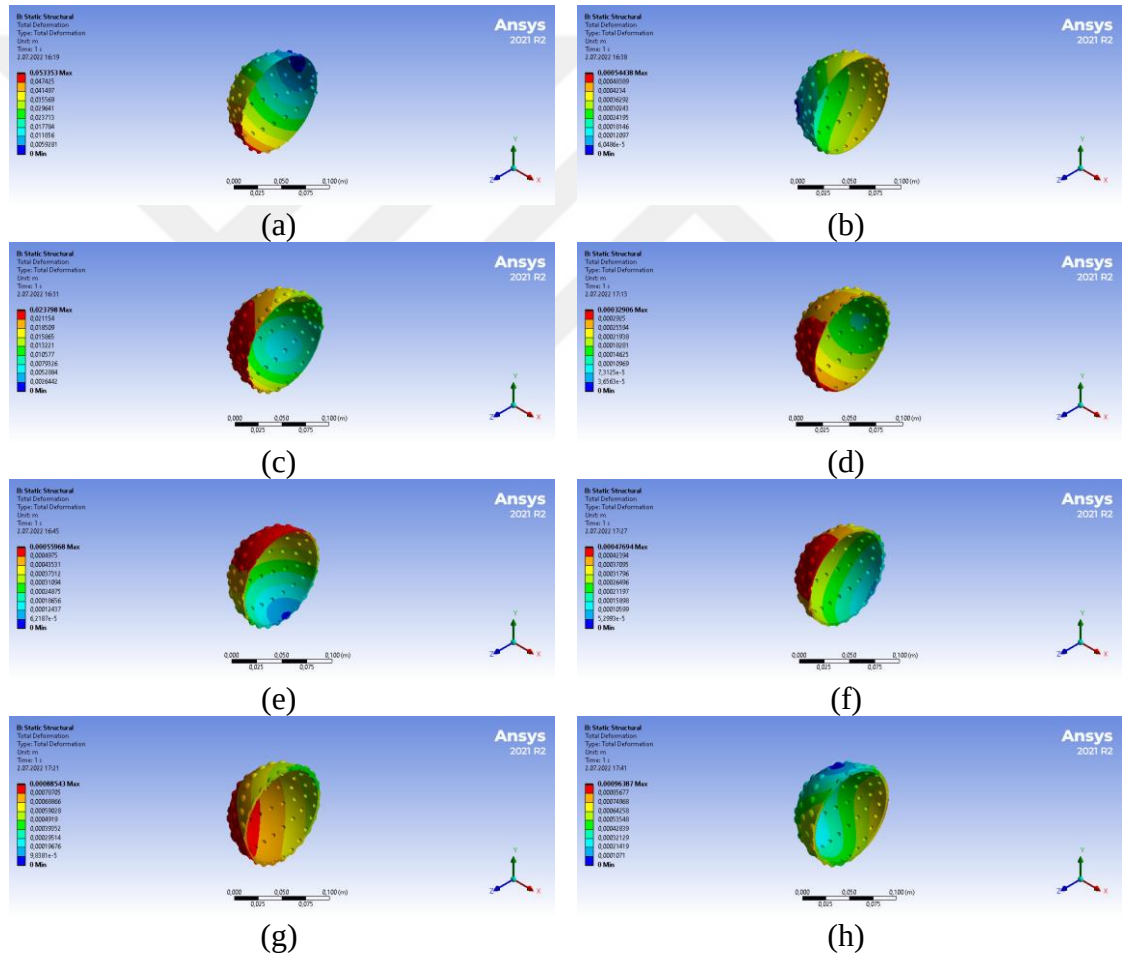


Şekil 3.48. D kapsülünün eşdeğer elastik gerinim kesit olarak karşılaştırılması a) 0,5mm D kapsülü b) 1mm D kapsülü c) 1,5mm D kapsülü d) 2mm D kapsülü e) 2,5mm D kapsülü f) 3mm D kapsülü g) 3,5mm D kapsülü h) 4mm D kapsülü

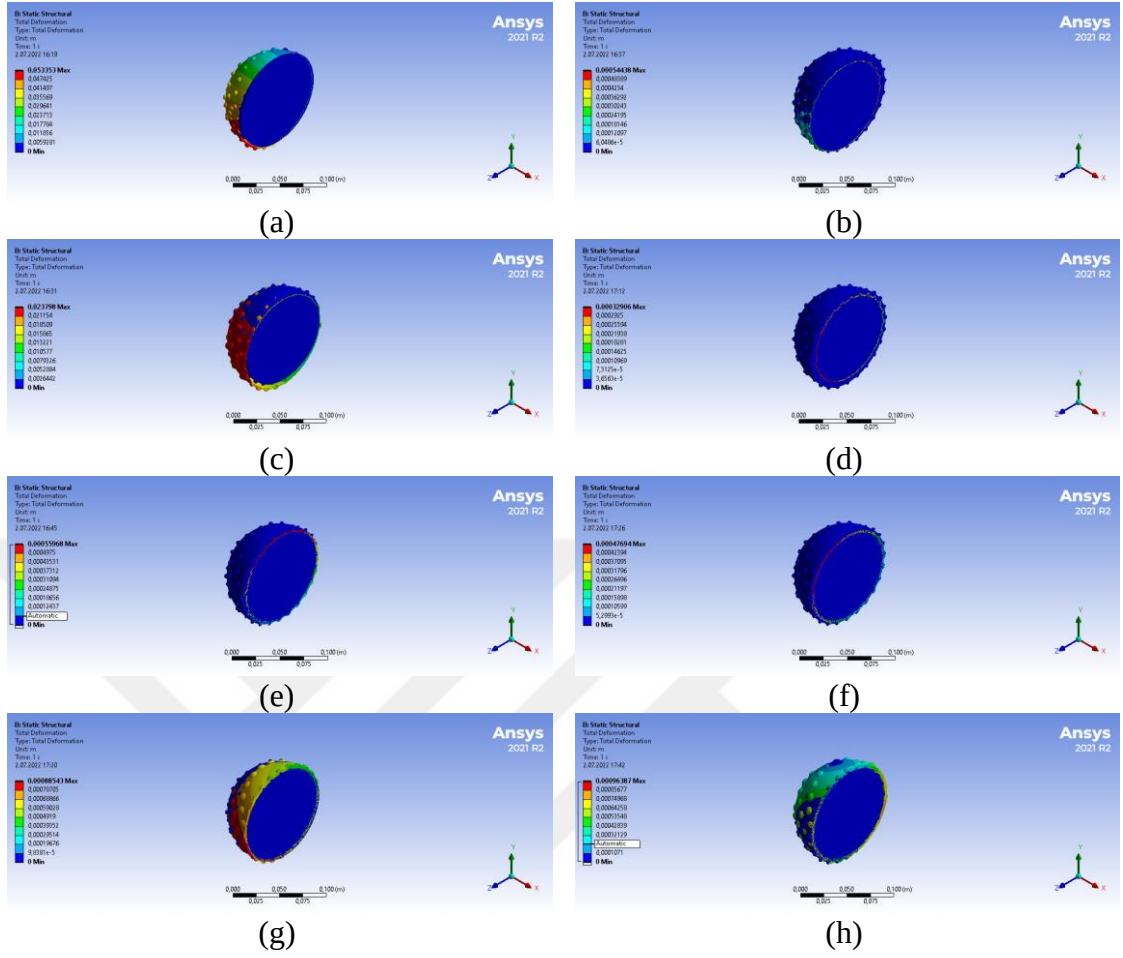


Şekil 3.49. D kapsülünün eşdeğer elastik gerinim bütünsel olarak karşılaştırılması a) 0,5mm D kapsülü b) 1mm D kapsülü c) 1,5mm D kapsülü d) 2mm D kapsülü e) 2,5mm D kapsülü f) 3mm D kapsülü g) 3,5mm D kapsülü h) 4mm D kapsülü

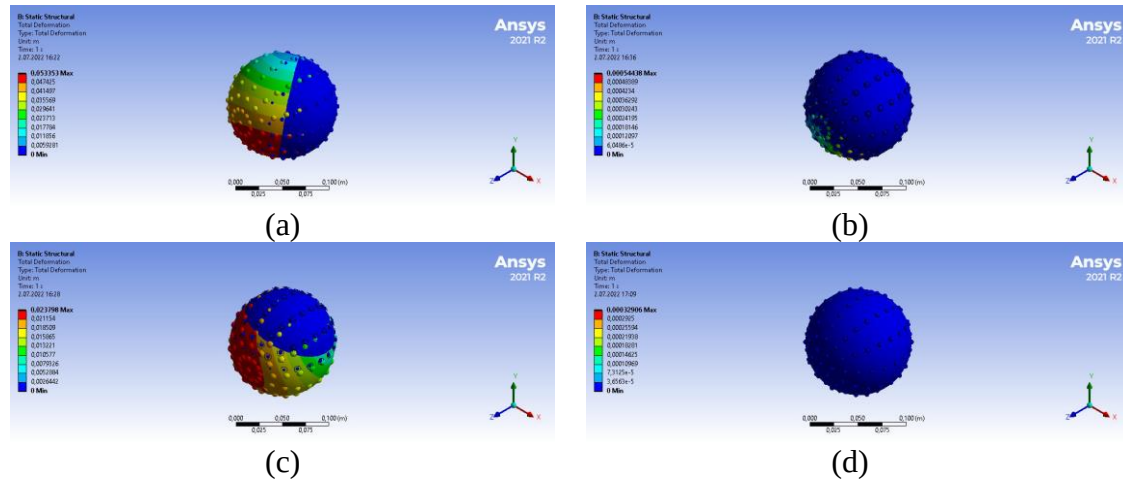
Şekil 3.47., Şekil 3.48., Şekil 3.49.'ü incelediğimizde; 0,5mm kapsülde $3,4398.10^{-5}$ (m/m), 1mm kapsülde $2,1096.10^{-6}$ (m/m), 1,5mm kapsülde $3,5781.10^{-6}$ (m/m), 2mm kapsülde $3,8907.10^{-5}$ (m/m), 2,5mm kapsülde $1,3124.10^{-4}$ (m/m), 3mm kapsülde $2,5578.10^{-4}$ (m/m), 3,5mm kapsülde $4,9689.10^{-4}$ (m/m), 4mm kapsülde $7,0584.10^{-3}$ (m/m) oranda şekil değiştirip tekrar eski haine gelme yeteneğine sahiptir.

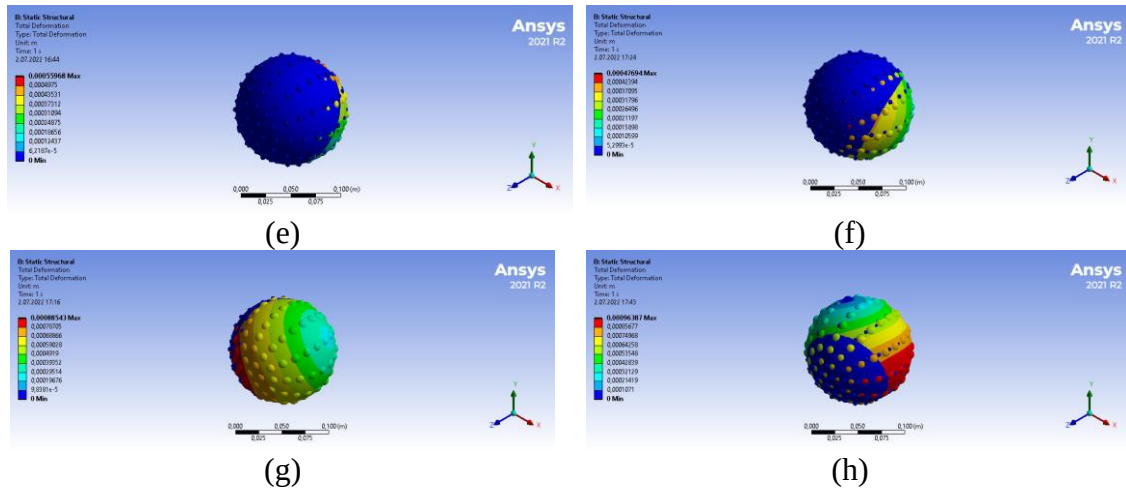


Şekil 3.50. D kapsülünün deformasyon kabuk olarak karşılaştırılması a) 0,5mm D kapsülü b) 1mm D kapsülü c) 1,5mm D kapsülü d) 2mm D kapsülü e) 2,5mm D kapsülü f) 3mm D kapsülü g) 3,5mm D kapsülü h) 4mm D kapsülü



Şekil 3.51. D kapsülünün deformasyon kesit olarak karşılaştırılması a) 0,5mm D kapsülü b) 1mm D kapsülü c) 1,5mm D kapsülü d) 2mm D kapsülü e) 2,5mm D kapsülü f) 3mm D kapsülü g) 3,5mm D kapsülü h) 4mm D kapsülü



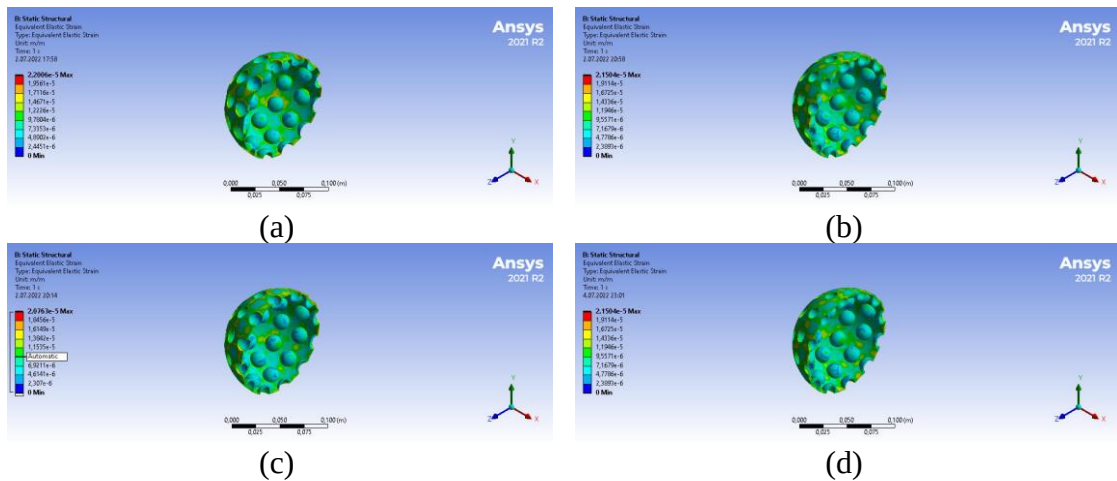


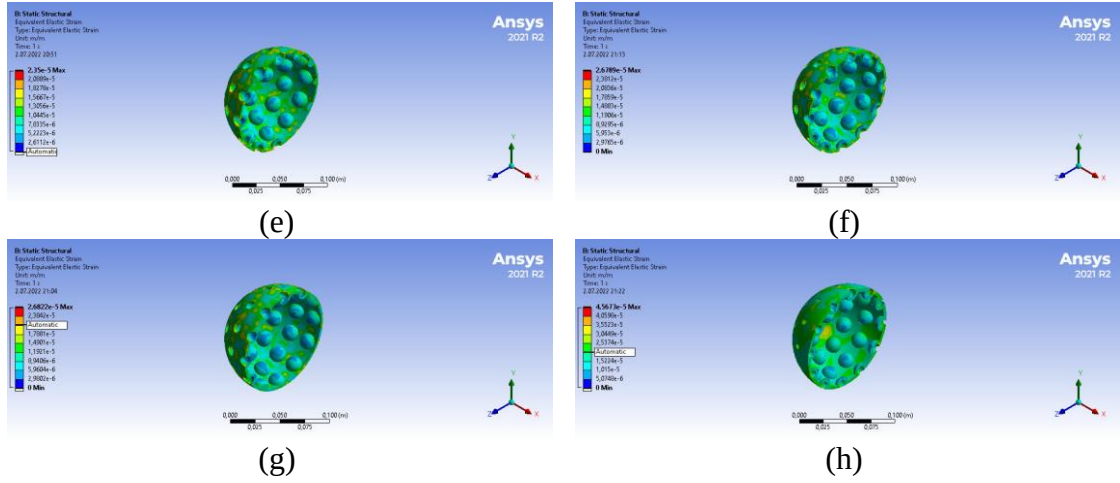
Şekil 3.52. D kapsülünün deformasyon bütünsel olarak karşılaştırılması a) 0,5mm D kapsülü b) 1mm D kapsülü c) 1,5mm D kapsülü d) 2mm D kapsülü e) 2,5mm D kapsülü f) 3mm D kapsülü g) 3,5mm D kapsülü h) 4mm D kapsülü

Şekil 3.50., Şekil 3.51., Şekil 3.52.'ü incelediğimizde; 0,5mm kapsülde $5,3353.10^{-2}$ m, 1mm kapsülde $5,4438.10^{-4}$ m, 1,5mm kapsülde $2,3798.10^{-2}$ m, 2mm kapsülde $3,2906.10^{-4}$ m, 2,5mm kapsülde $5,5968.10^{-4}$ m, 3mm kapsülde $4,7694.10^{-4}$ m, 3,5mm kapsülde $8,8543.10^{-4}$ m, 4mm ise kapsülde $9,6387.10^{-4}$ m mesafesinde deformasyona uğramıştır.

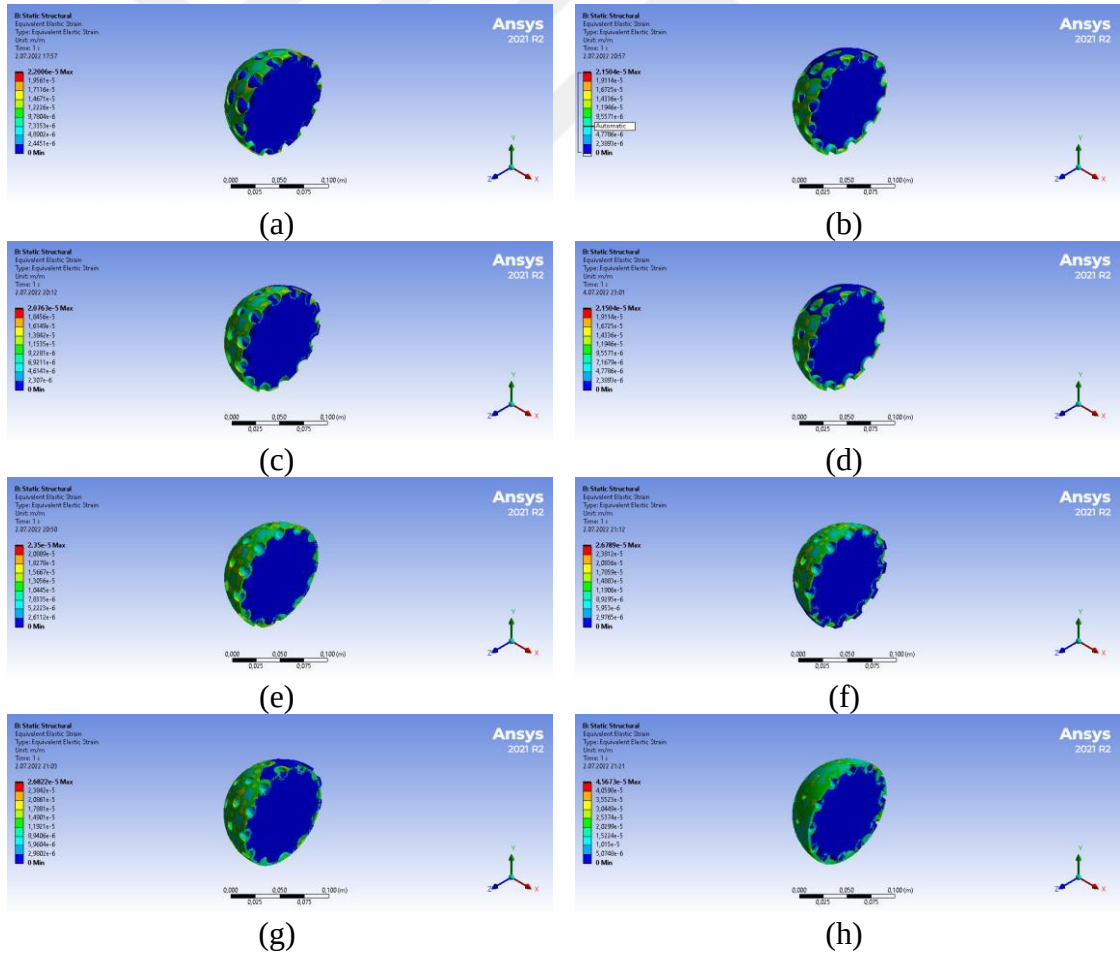
3.2.5. E Kapsülü Gerilim ve Deformasyon Analiz Karşılaştırmaları

Bu bölümde farklı kalınlıklarda E kapsülünün Ansys programında yapılan çalışmalar sonucunda alınan eşdeğer elastik gerilim, deformasyon incelemelerinin kabuk, kesit, bütünsel olarak incelenmiştir.

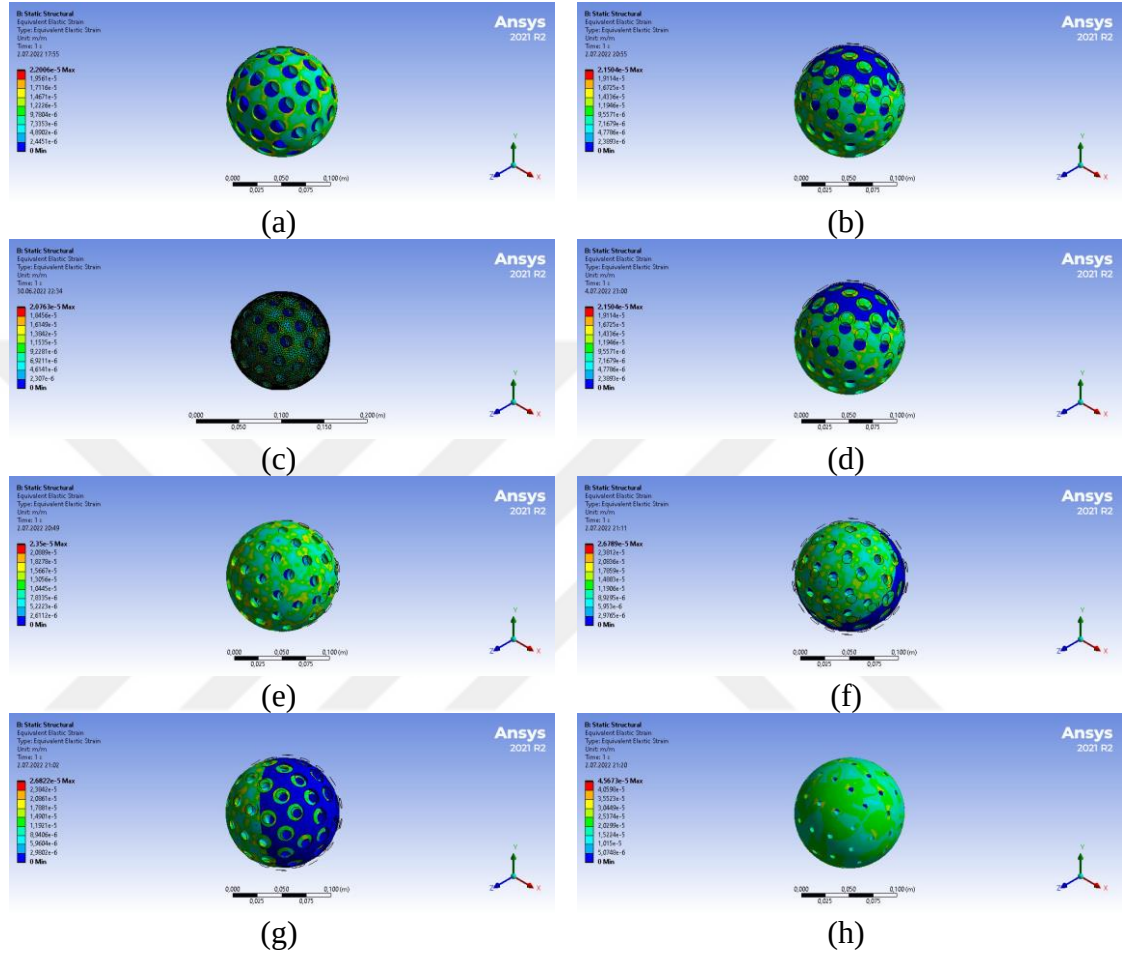




Şekil 3.53. E kapsülünün eşdeğer elastik gerinim kabuk olarak karşılaştırılması a) 0,5mm E kapsülü b) 1mm E kapsülü c) 1,5mm E kapsülü d) 2mm E kapsülü e) 2,5mm E kapsülü f) 3mm E kapsülü g) 3,5mm E kapsülü h) 4mm E kapsülü

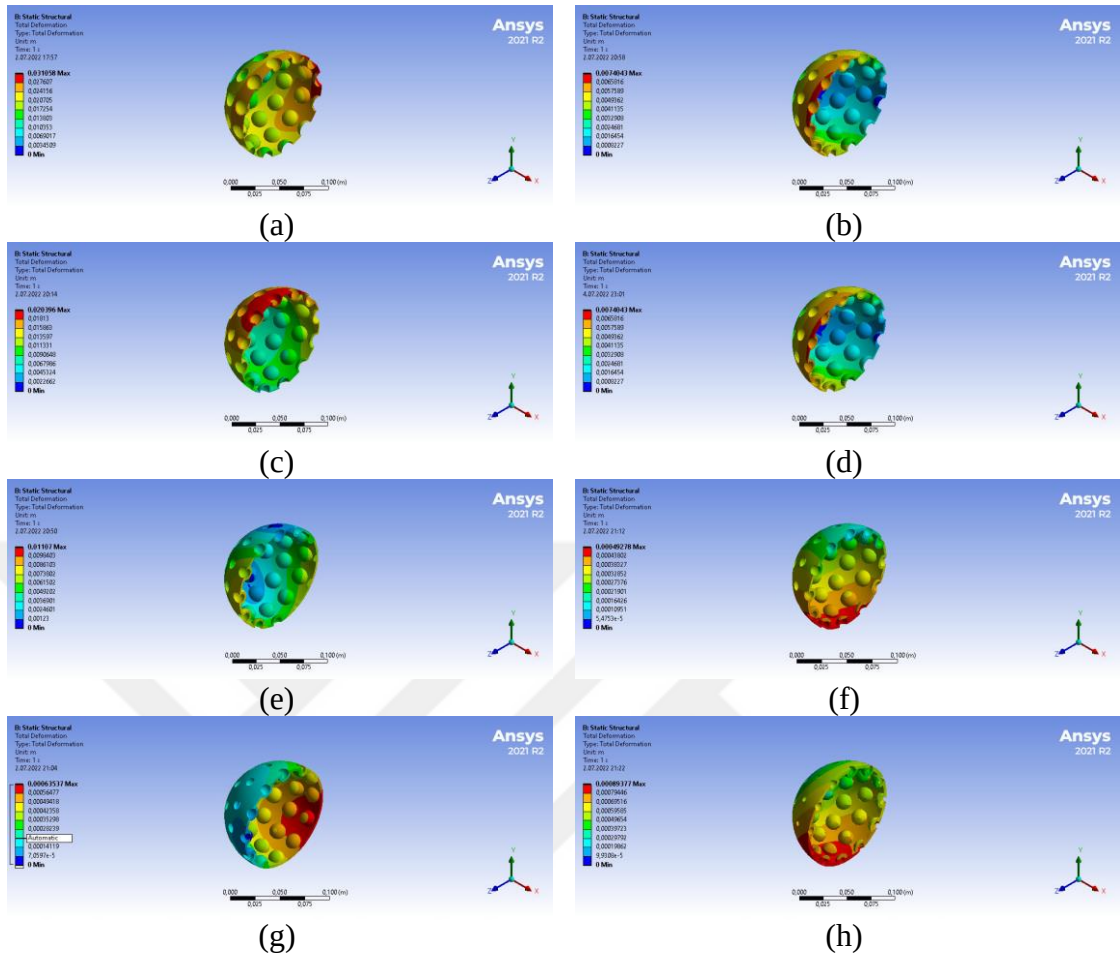


Şekil 3.54. E kapsülünün eşdeğer elastik gerinim kesit olarak karşılaştırılması a) 0,5mm E kapsülü b) 1mm E kapsülü c) 1,5mm E kapsülü d) 2mm E kapsülü e) 2,5mm E kapsülü f) 3mm E kapsülü g) 3,5mm E kapsülü h) 4mm E kapsülü

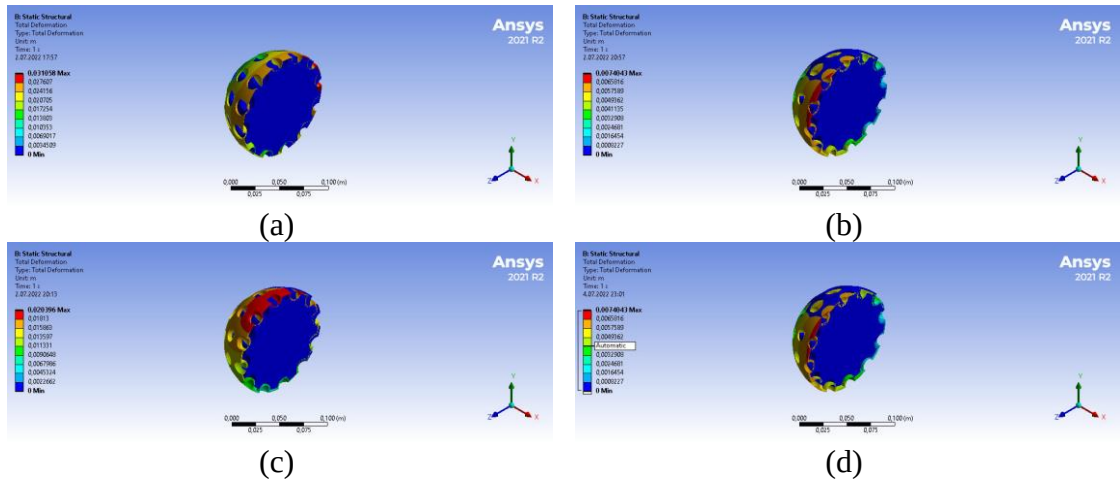


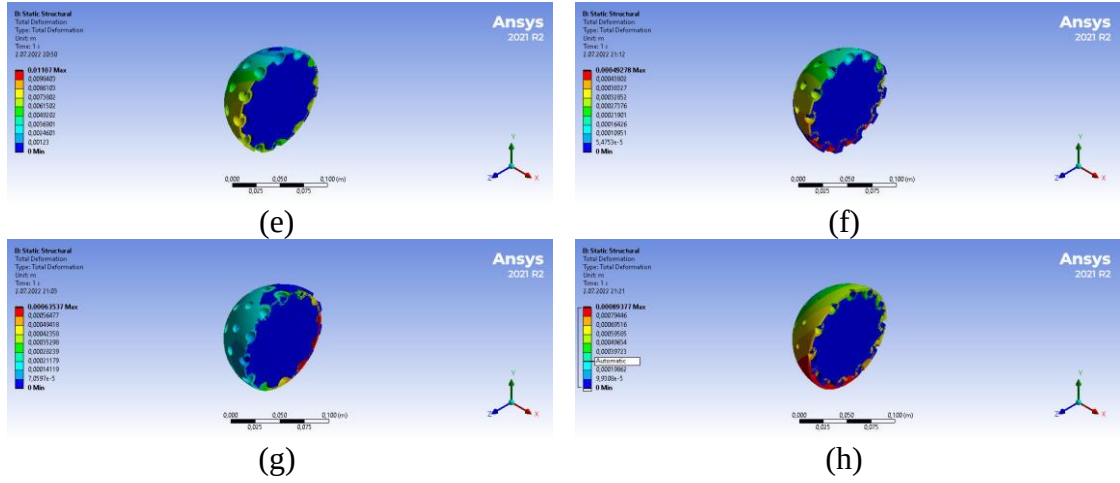
Şekil 3.55. E kapsülünün eşdeğer elastik gerinim bütünsel olarak karşılaştırılması a) 0,5mm E kapsülü b) 1mm E kapsülü c) 1,5mm E kapsülü d) 2mm E kapsülü e) 2,5mm E kapsülü f) 3mm E kapsülü g) 3,5mm E kapsülü h) 4mm E kapsülü

Şekil 3.53., Şekil 3.54., Şekil 3.55.'ü incelediğimizde; 0,5mm kapsülde $2,2006 \cdot 10^{-5}$ (m/m), 1mm kapsülde $2,1504 \cdot 10^{-5}$ (m/m), 1,5mm kapsülde $2,0763 \cdot 10^{-5}$ (m/m), 2mm kapsülde $2,1504 \cdot 10^{-5}$ (m/m), 2,5mm kapsülde $2,350 \cdot 10^{-5}$ (m/m), 3mm kapsülde $2,6789 \cdot 10^{-5}$ (m/m), 3,5mm kapsülde $2,6822 \cdot 10^{-5}$ (m/m), 4mm kapsülde ise $4,5673 \cdot 10^{-5}$ (m/m) oranda şekil değiştirip tekrar eski haine gelme yeteneğine sahiptir.

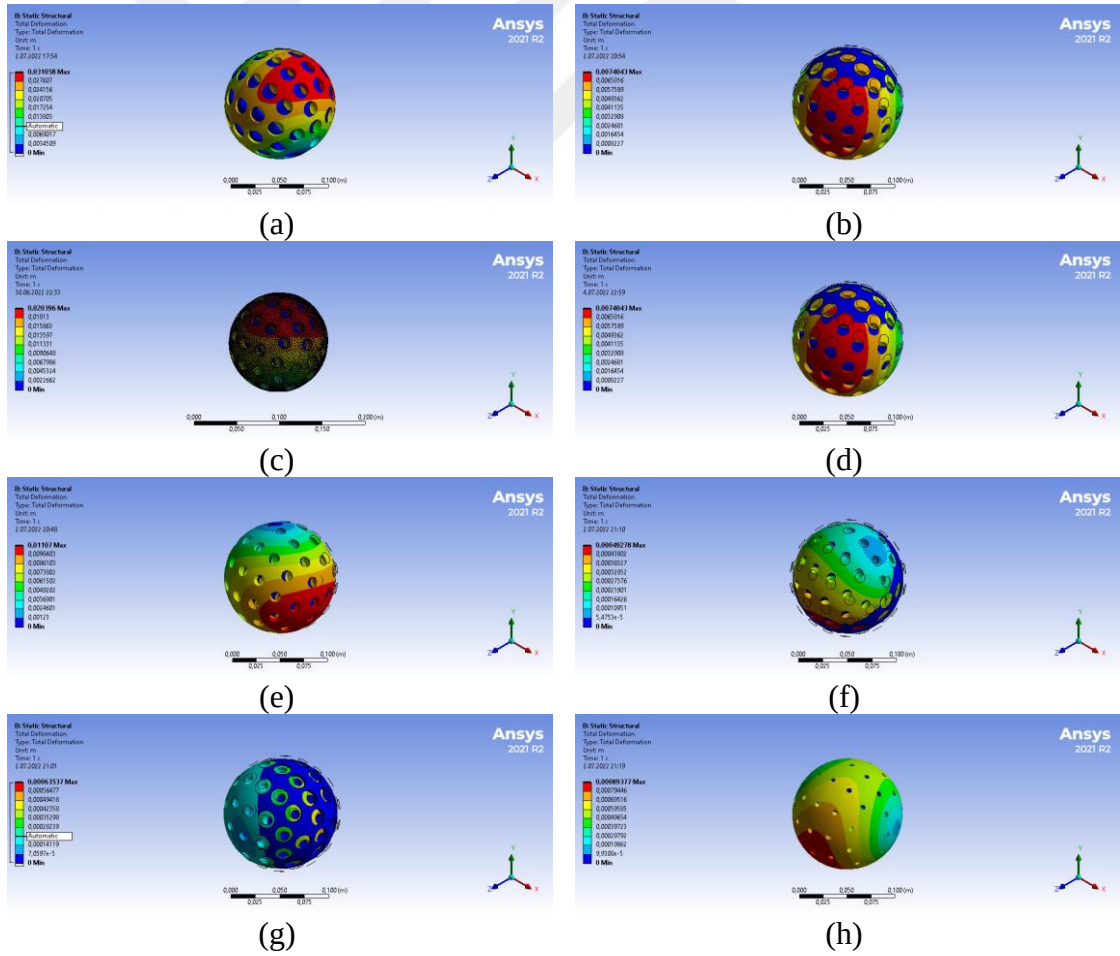


Şekil 3.56. E kapsülünün deformasyon kabuk olarak karşılaştırılması a) 0,5mm E kapsülü b) 1mm E kapsülü c) 1,5mm E kapsülü d) 2mm E kapsülü e) 2,5mm E kapsülü f) 3mm E kapsülü g) 3,5mm E kapsülü h) 4mm E kapsülü





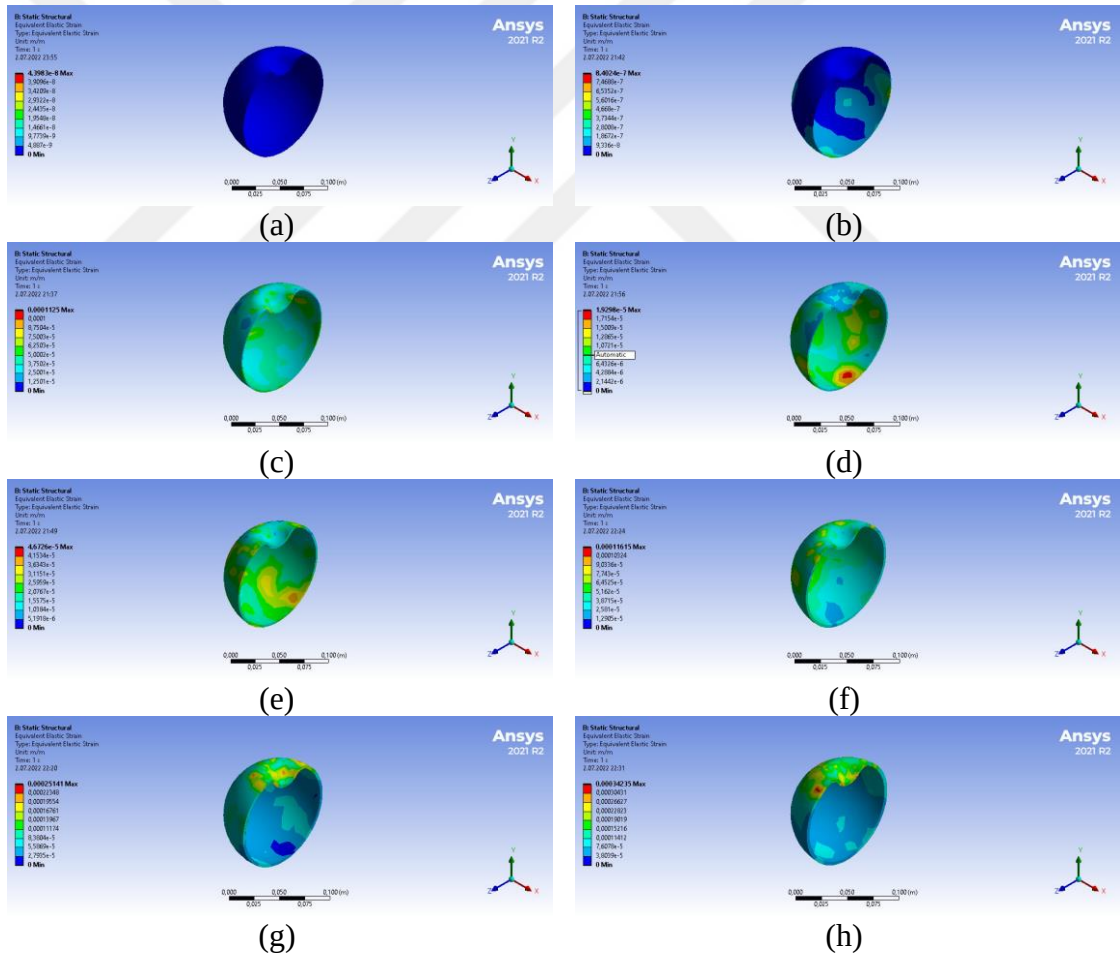
Şekil 3.57. E kapsülünün deformasyon kesit olarak karşılaştırılması a) 0,5mm E kapsülü b) 1mm E kapsülü c) 1,5mm E kapsülü d) 2mm E kapsülü e) 2,5mm E kapsülü f) 3mm E kapsülü g) 3,5mm E kapsülü h) 4mm E kapsülü



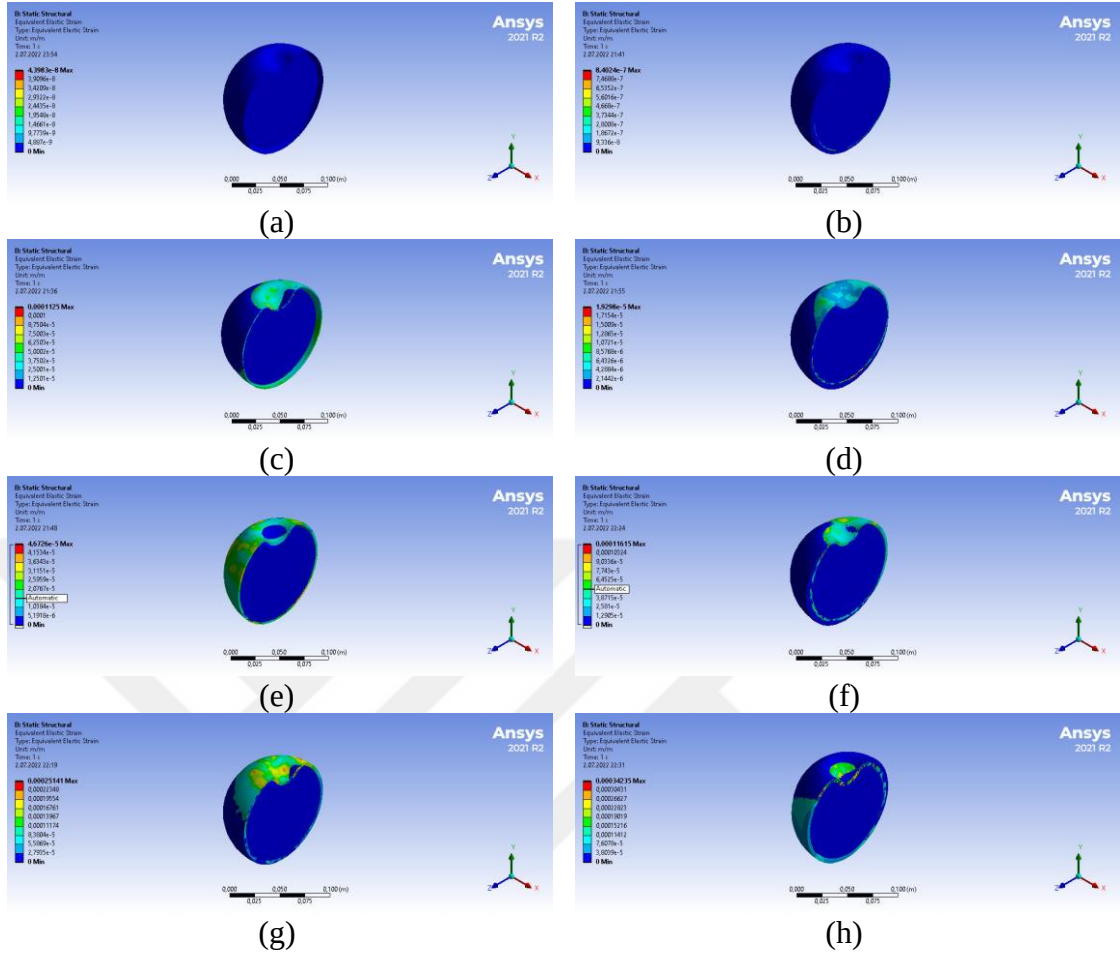
Şekil 3.58. E kapsülünün deformasyon bütünsel olarak karşılaştırılması a) 0,5mm E kapsülü b) 1mm E kapsülü c) 1,5mm E kapsülü d) 2mm E kapsülü e) 2,5mm E kapsülü f) 3mm E kapsülü g) 3,5mm E kapsülü h) 4mm E kapsülü

Şekil 3.56., Şekil 3.57., Şekil 3.58.'ü incelediğimizde; 0,5mm kapsülde $3,1058 \cdot 10^{-2}$ m, 1mm kapsülde $7,4043 \cdot 10^{-3}$ m, 1,5mm kapsülde $2,0396 \cdot 10^{-2}$ m, 2mm ise kapsülde $7,4043 \cdot 10^{-3}$ m, 2,5mm kapsülde $1,107 \cdot 10^{-2}$ m, 3mm kapsülde $4,9278 \cdot 10^{-4}$ m, 3,5mm kapsülde $6,3537 \cdot 10^{-4}$ m, 4mm ise kapsülde $8,9377 \cdot 10^{-4}$ m mesafesinde deformasyona uğramıştır.

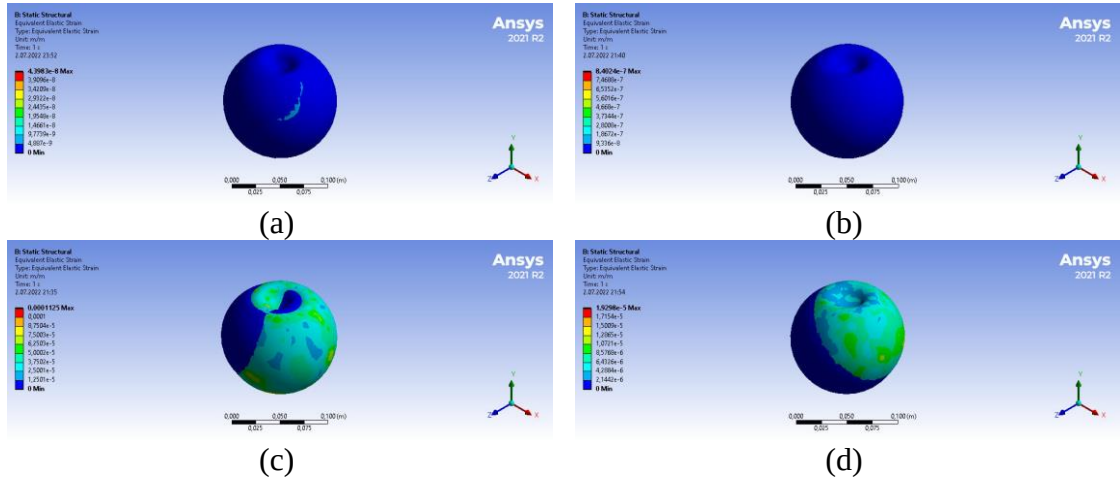
3.2.6. F Kapsülü Gerilim ve Deformasyon Analiz Karşılaştırmaları

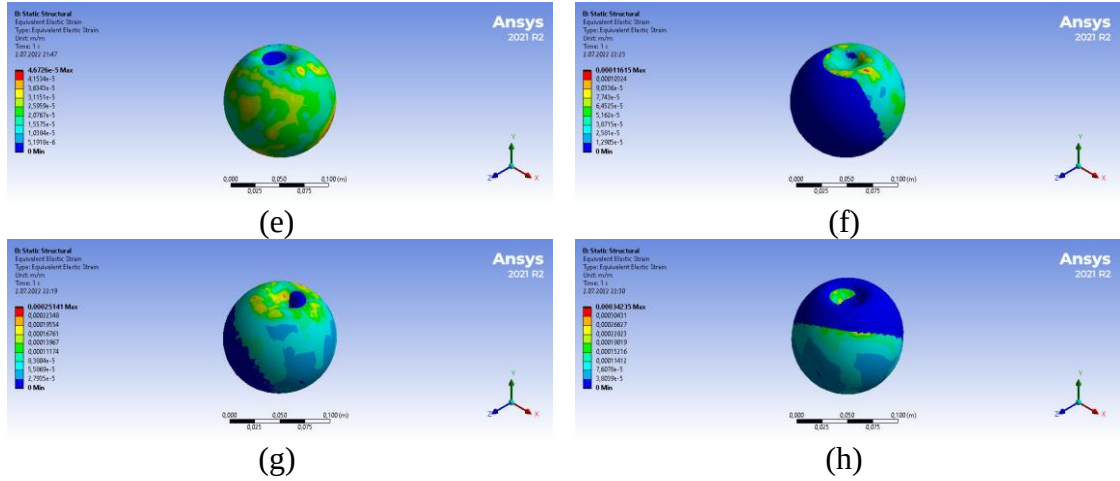


Şekil 3.59. F kapsülünün eşdeğer elastik gerilim kabuk olarak karşılaştırılması a) 0,5mm F kapsülü b) 1mm F kapsülü c) 1,5mm F kapsülü d) 2mm F kapsülü e) 2,5mm F kapsülü f) 3mm F kapsülü g) 3,5mm F kapsülü h) 4mm F kapsülü



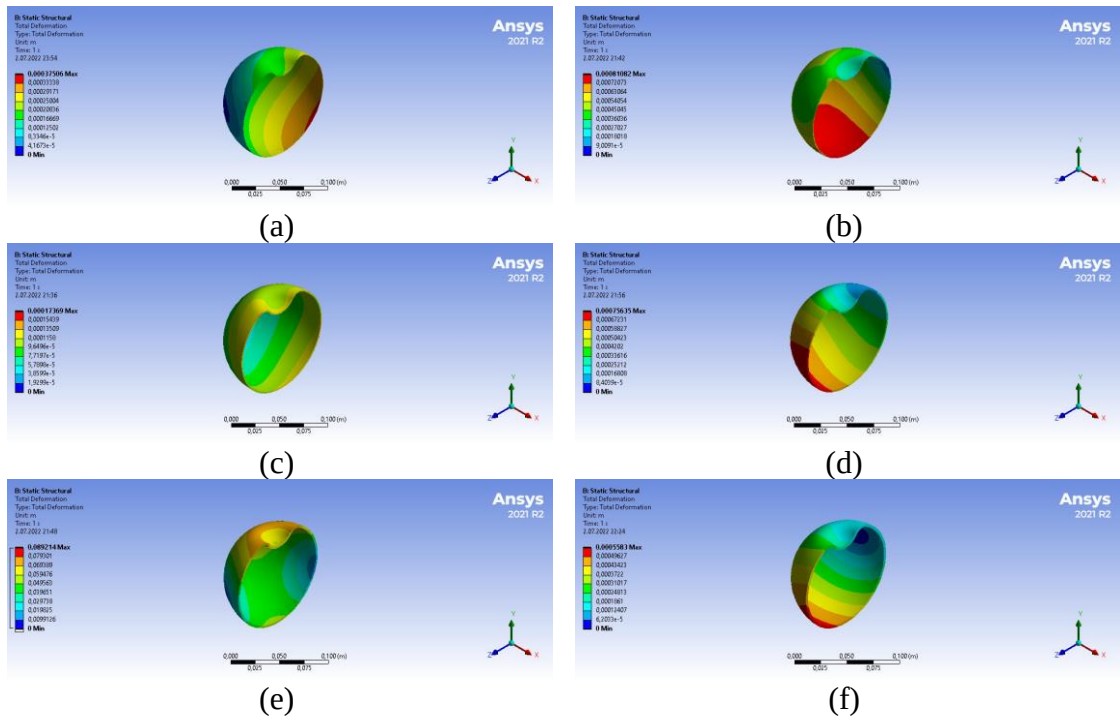
Şekil 3.60. F kapsülünün eşdeğer elastik gerinim kesit olarak karşılaştırılması a) 0,5mm F kapsülü b) 1mm F kapsülü c) 1,5mm F kapsülü d) 2mm F kapsülü e) 2,5mm F kapsülü f) 3mm F kapsülü g) 3,5mm F kapsülü h) 4mm F kapsülü

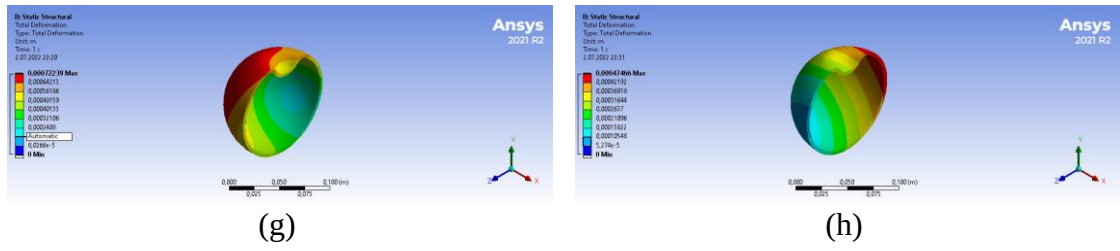




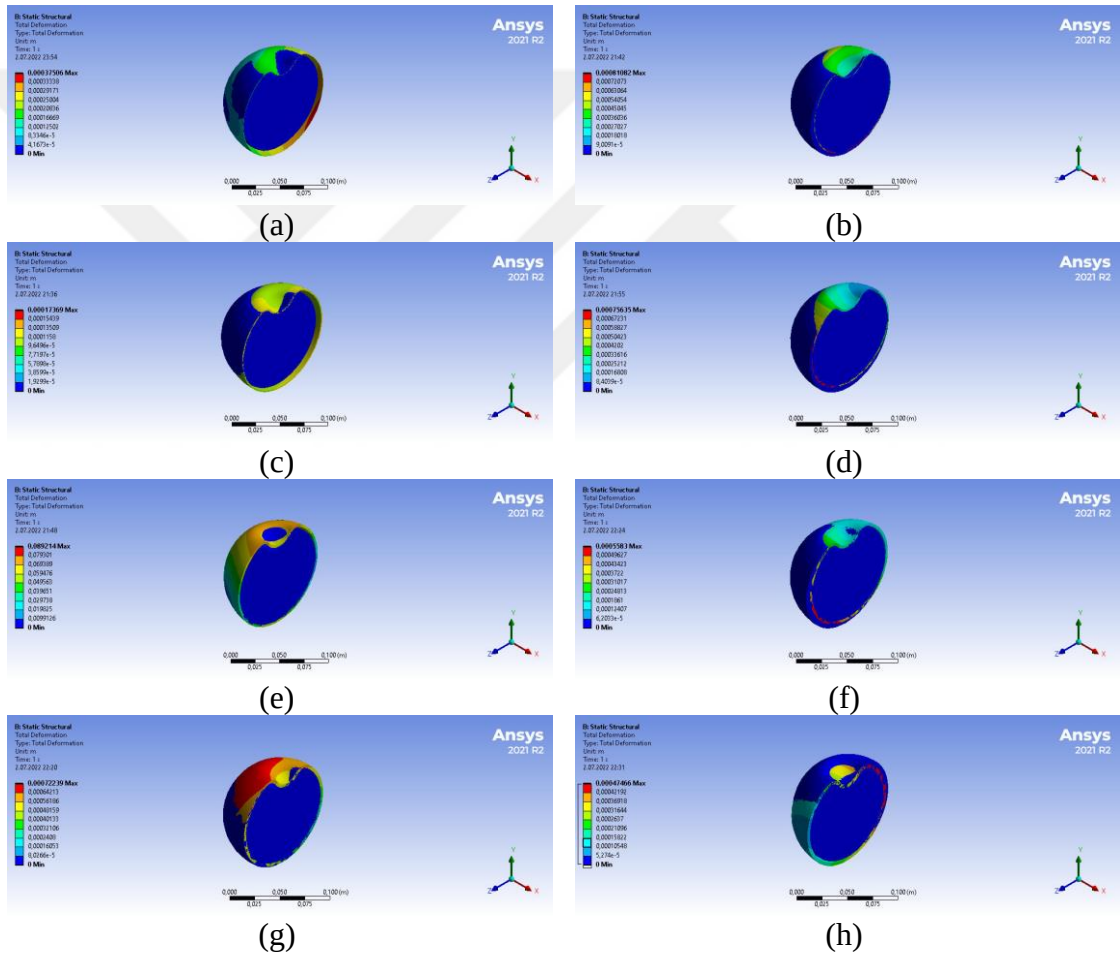
Şekil 3.61. F kapsülünün eşdeğer elastik gerinim bütünsel olarak karşılaştırılması a) 0,5mm F kapsülü b) 1mm F kapsülü c) 1,5mm F kapsülü d) 2mm F kapsülü e) 2,5mm F kapsülü f) 3mm F kapsülü g) 3,5mm F kapsülü h) 4mm F kapsülü

Şekil 3.59., Şekil 3.60., Şekil 3.61.'ü incelediğimizde; 0,5mm kapsülde $4,3983 \cdot 10^{-8}$ (m/m), 1mm kapsülde $8,4024 \cdot 10^{-7}$ (m/m), 1,5mm kapsülde $1,1174 \cdot 10^{-5}$ (m/m), 2mm kapsülde $1,9298 \cdot 10^{-5}$ (m/m), 2,5mm kapsülde $4,6726 \cdot 10^{-5}$ (m/m), 3mm kapsülde $1,1615 \cdot 10^{-4}$ (m/m), 3,5mm kapsülde $2,5141 \cdot 10^{-4}$ (m/m), 4mm kapsülde ise $3,4235 \cdot 10^{-4}$ (m/m) oranda şekil değiştirip tekrar eski haine gelme yeteneğine sahiptir.

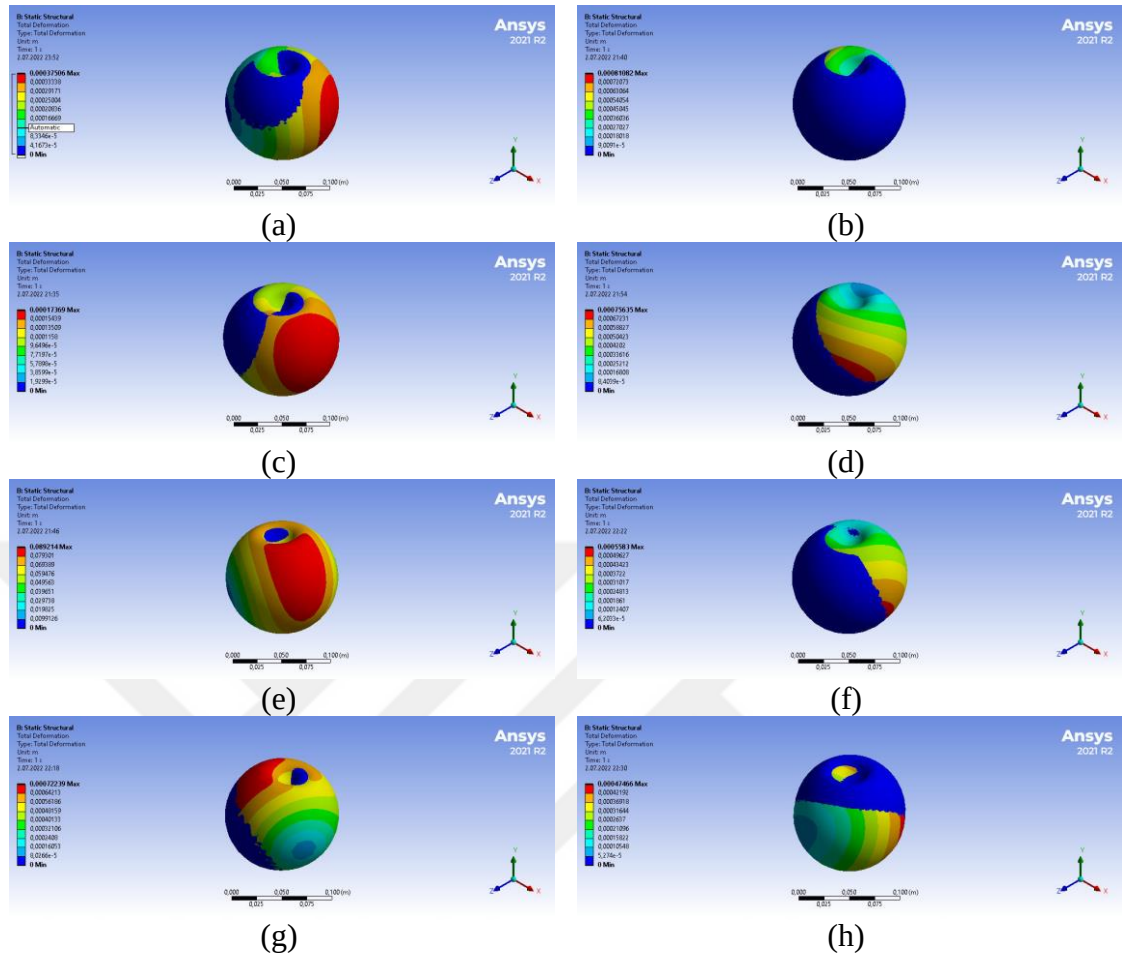




Şekil 3.62. F kapsülünün deformasyon kabuk olarak karşılaştırılması a) 0,5mm F kapsülü b) 1mm F kapsülü c) 1,5mm F kapsülü d) 2mm F kapsülü e) 2,5mm F kapsülü f) 3mm F kapsülü g) 3,5mm F kapsülü h) 4mm F kapsülü



Şekil 3.63. F kapsülünün deformasyon kesit olarak karşılaştırılması a) 0,5mm F kapsülü b) 1mm F kapsülü c) 1,5mm F kapsülü d) 2mm F kapsülü e) 2,5mm F kapsülü f) 3mm F kapsülü g) 3,5mm F kapsülü h) 4mm F kapsülü

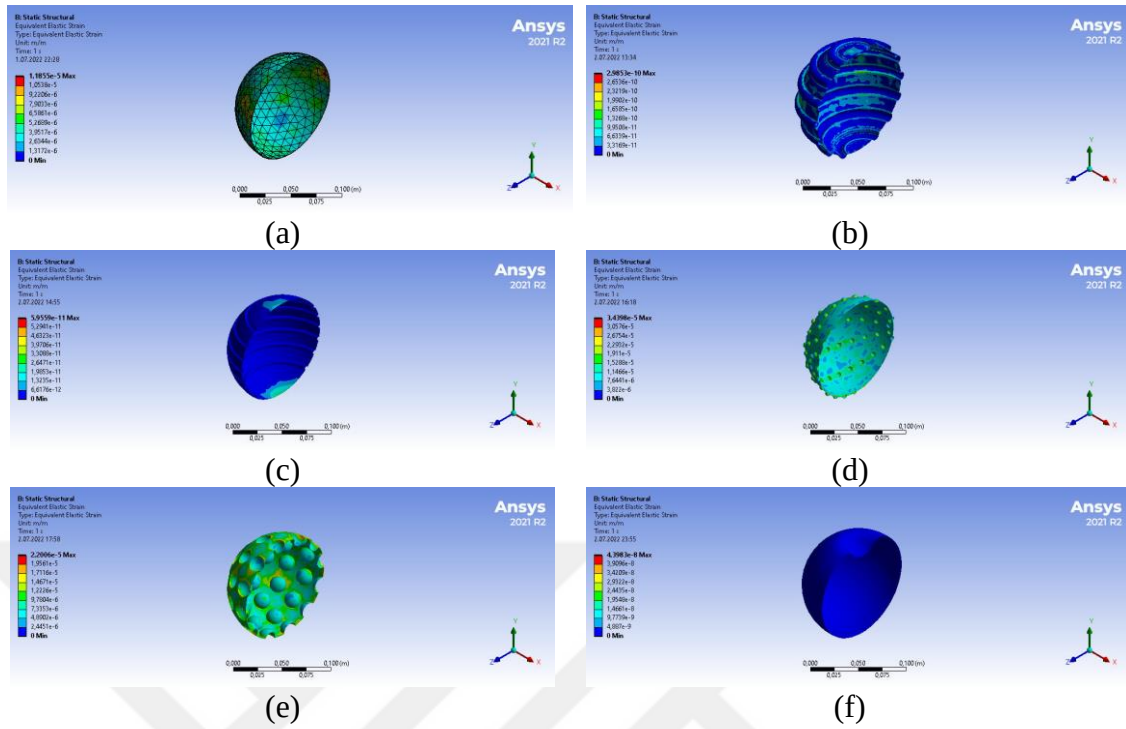


Şekil 3.64. F kapsülünün deformasyon bütünsel olarak karşılaştırılması a) 0,5mm F kapsülü b) 1mm F kapsülü c) 1,5mm F kapsülü d) 2mm F kapsülü e) 2,5mm F kapsülü f) 3mm F kapsülü g) 3,5mm F kapsülü h) 4mm F kapsülü

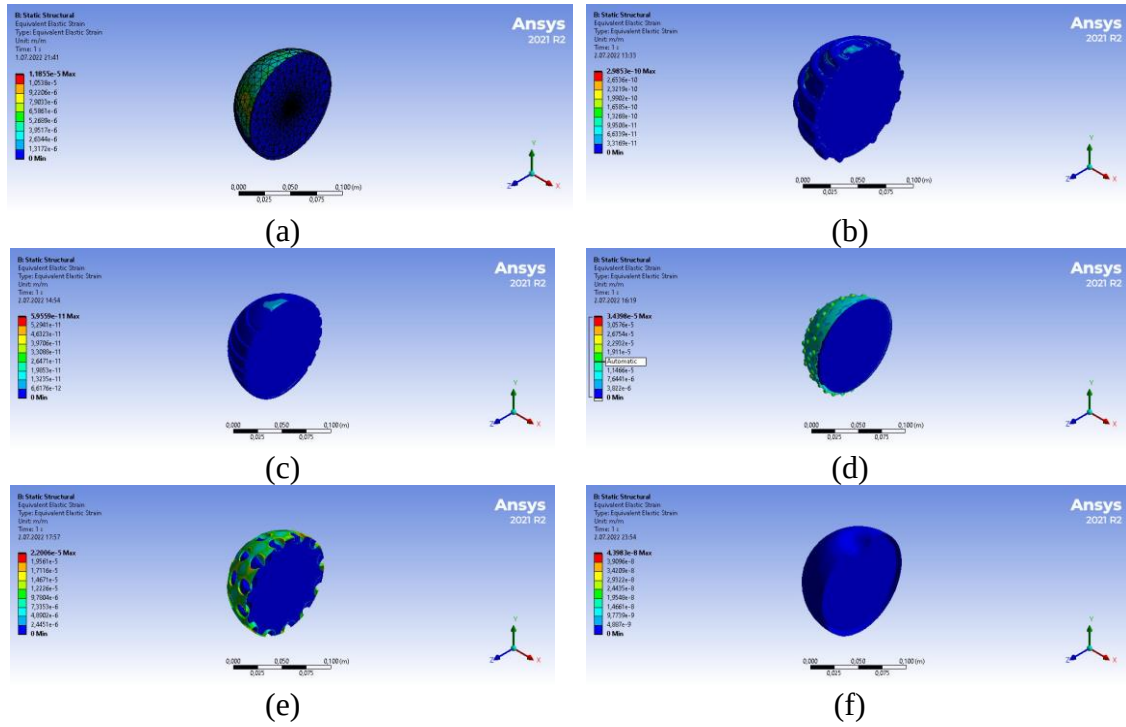
Şekil 3.62., Şekil 3.63., Şekil 3.64.'ü incelediğimizde; 0,5mm kapsülde $3,7506 \cdot 10^{-4}$ m, 1mm kapsülde $8,1082 \cdot 10^{-4}$ m, 1,5mm kapsülde $1,7369 \cdot 10^{-4}$ m, 2mm kapsülde $7,5635 \cdot 10^{-4}$ m, 2,5mm kapsülde $8,9214 \cdot 10^{-2}$ m, 3mm kapsülde $5,583 \cdot 10^{-4}$ m, 3,5mm kapsülde $7,2239 \cdot 10^{-4}$ m, 4mm ise kapsülde $4,7466 \cdot 10^{-4}$ m mesafesinde deformasyona uğramıştır.

3.2.7. 0,5mm Kapsüllerin Gerilim ve Deformasyon Analiz Karşılaştırmaları

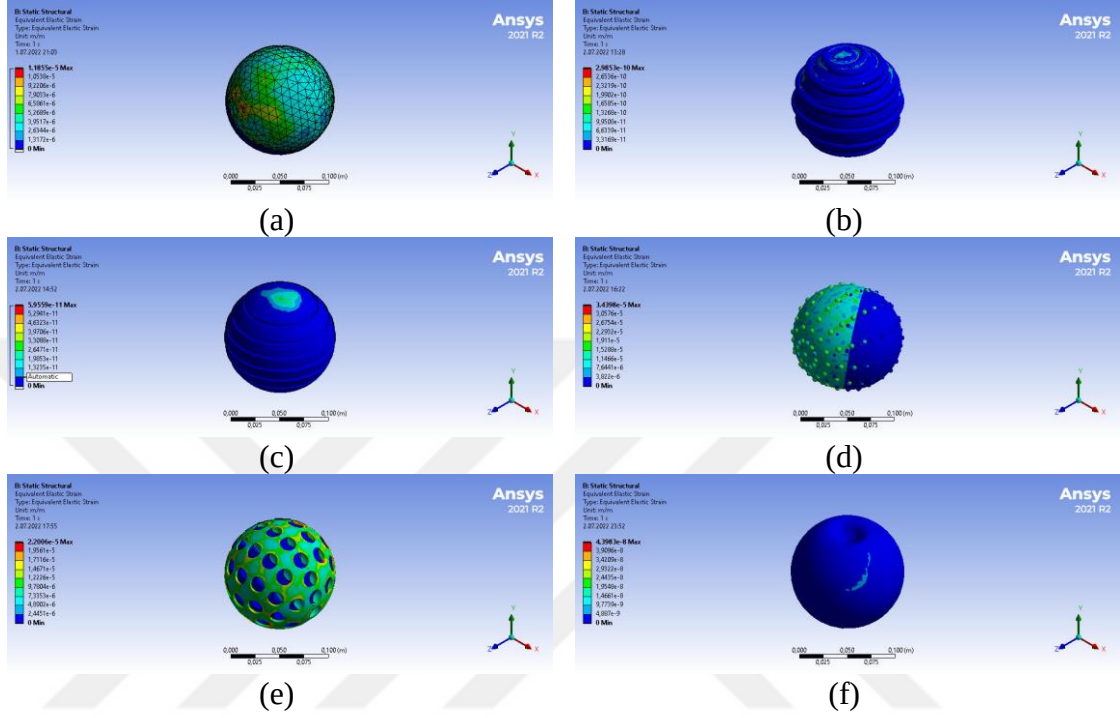
Bu bölümde 0,5mm kapsüllerinin farklı tip kapsüllerde Ansys programında yapılan çalışmalar sonucunda alınan eşdeğer elastik gerilim, deformasyon incelemelerinin kabuk, kesit, bütünsel olarak incelenmiştir.



Şekil 3.65. 0,5mm kapsülün eşdeğer elastik gerinim kabuk olarak karşılaştırılması a) 0,5mm A kapsülü b) 0,5mm b kapsülü c) 0,5mm C kapsülü d) 0,5mm D kapsülü e) 0,5mm E kapsülü f) 0,5mm F kapsülü

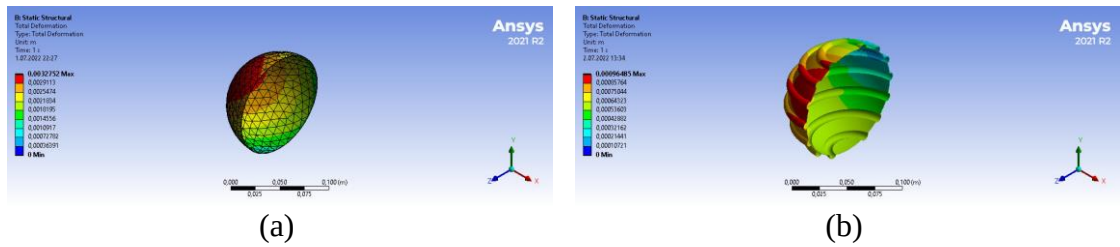


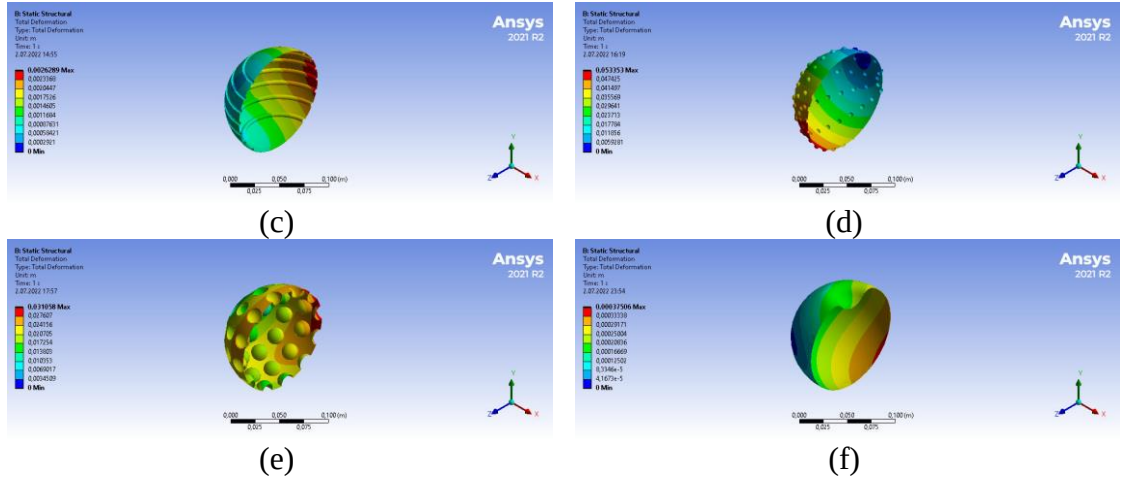
Şekil 3.66. 0,5mm kapsülün eşdeğer elastik gerinim kesit olarak karşılaştırılması a) 0,5mm A kapsülü b) 0,5mm B kapsülü c) 0,5mm C kapsülü d) 0,5mm D kapsülü e) 0,5mm E kapsülü f) 0,5mm F kapsülü



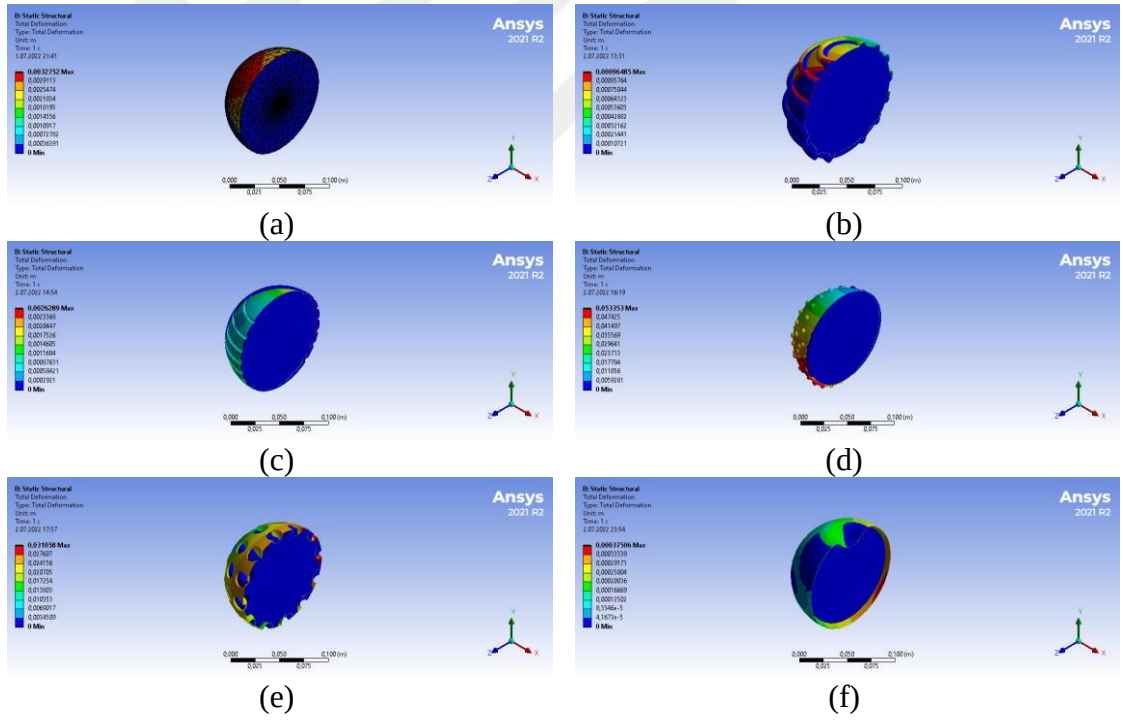
Şekil 3.67. 0,5mm kapsülün eşdeğer elastik gerinim bütünsel olarak karşılaştırılması a) 0,5mm A kapsülü b) 0,5mm B kapsülü c) 0,5mm C kapsülü d) 0,5mm D kapsülü e) 0,5mm E kapsülü f) 0,5mm F kapsülü

Şekil 3.65., Şekil 3.66., Şekil 3.67.'ü incelediğimizde; A kapsülünde $4,3983 \cdot 10^{-8}$ (m/m), B kapsülünde $8,4024 \cdot 10^{-7}$ (m/m), C kapsülünde ise $1,1174 \cdot 10^{-5}$ (m/m), D kapsülünde $1,9298 \cdot 10^{-5}$ (m/m), E kapsülünde $6726 \cdot 10^{-5}$ (m/m), F kapsülünde ise $1,1615 \cdot 10^{-4}$ (m/m) oranda şekil değiştirip tekrar eski haline gelme yeteneğine sahiptir.

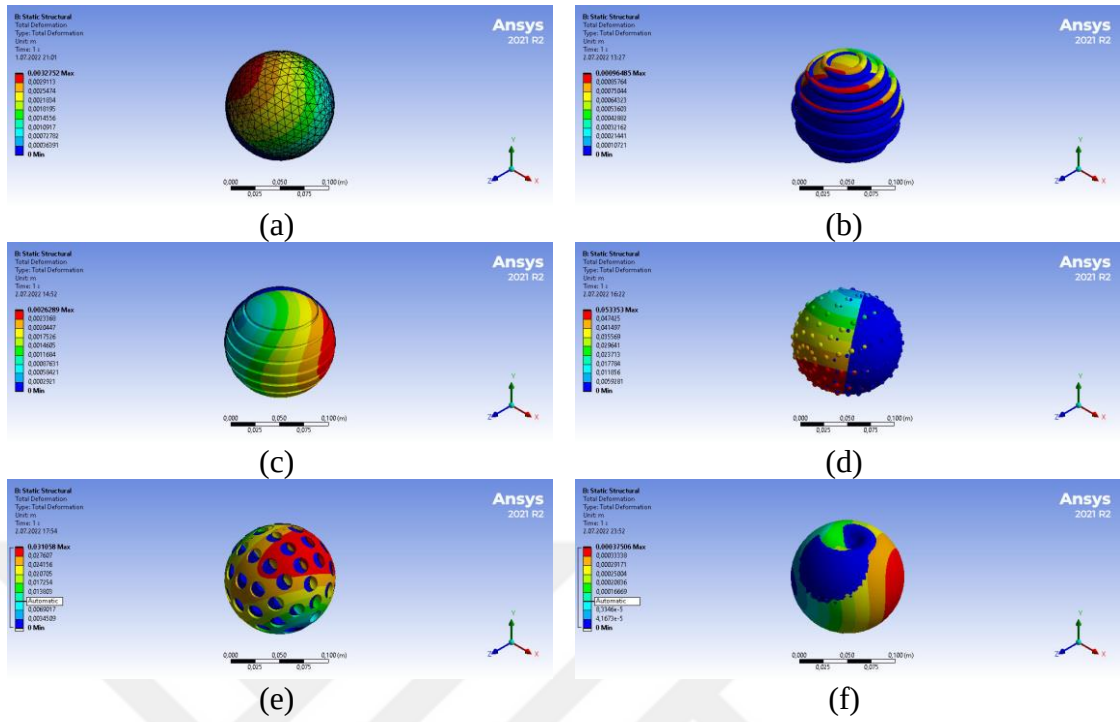




Şekil 3.68. 0,5mm kapsülün deformasyon kabuk olarak karşılaştırılması a) 0,5mm A kapsülü b) 0,5mm B kapsülü c) 0,5mm C kapsülü d) 0,5mm D kapsülü e) 0,5mm E kapsülü f) 0,5mm F kapsülü



Şekil 3.69. 0,5mm kapsülün deformasyon kesit olarak karşılaştırılması a) 0,5mm A kapsülü b) 0,5mm B kapsülü c) 0,5mm C kapsülü d) 0,5mm D kapsülü e) 0,5mm E kapsülü f) 0,5mm F kapsülü

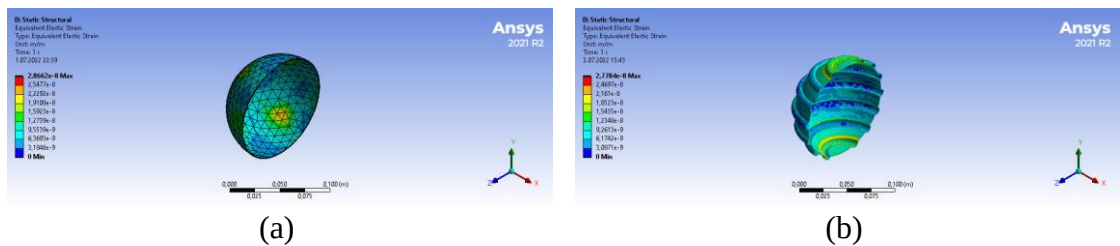


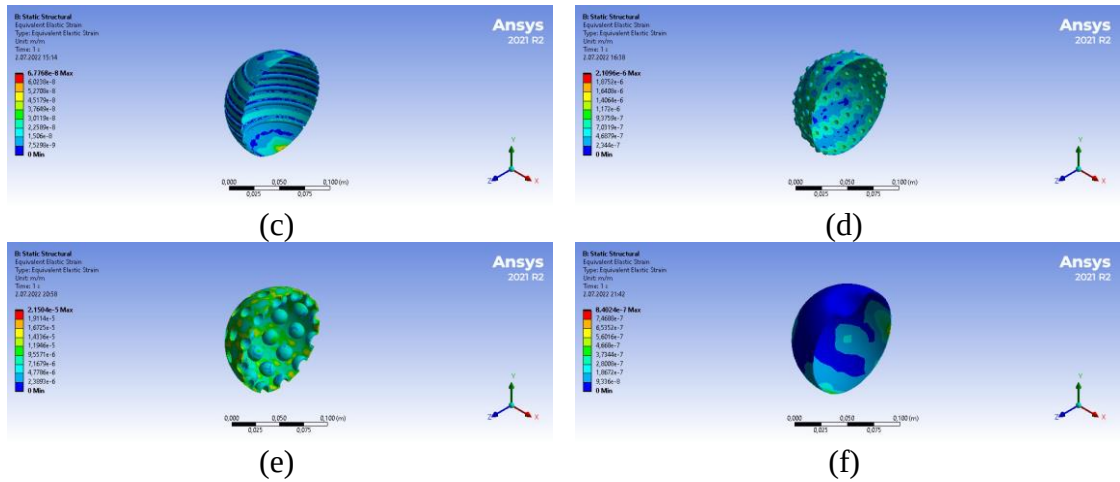
Şekil 3.70. 0,5mm kapsülün deformasyon bütünsel olarak karşılaştırılması a) 0,5mm A kapsülü b) 0,5mm B kapsülü c) 0,5mm C kapsülü d) 0,5mm D kapsülü e) 0,5mm E kapsülü f) 0,5mm F kapsülü

Şekil 3.68., Şekil 3.69., Şekil 3.70.'ü incelediğimizde; A kapsülünde $3,2752 \cdot 10^{-4}$ m, B kapsülünde $9,6485 \cdot 10^{-4}$ m, C kapsülünde $2,6289 \cdot 10^{-3}$ m, D kapsülünde $5,3353 \cdot 10^{-2}$ m, E kapsülünde $3,1058 \cdot 10^{-2}$ m, F kapsülünde $3,7506 \cdot 10^{-4}$ m mesafesinde deformasyona uğramıştır.

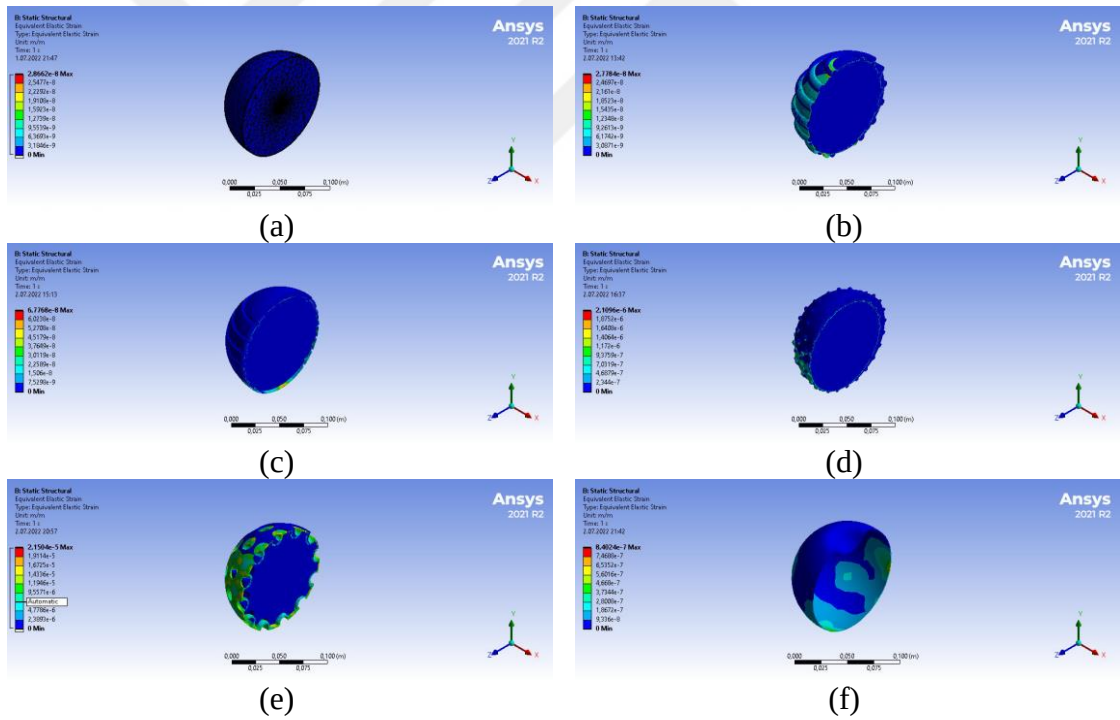
3.2.8. 1mm Kapsüllerin Gerilim ve Deformasyon Analiz Karşılaştırmaları

Bu bölümde 1mm kapsüllerinin farklı tip kapsüllerde Ansys programında yapılan çalışmalar sonucunda alınan eşdeğer elastik gerinim, deformasyon incelemelerinin kabuk, kesit, bütünsel olarak incelenmiştir.

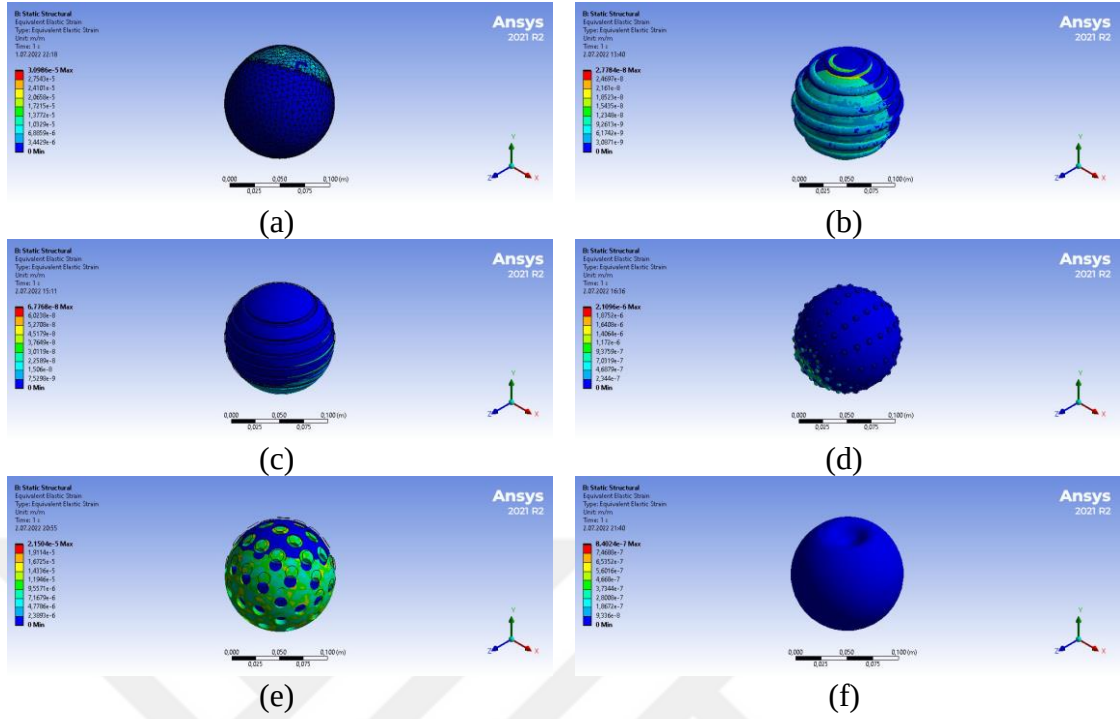




Şekil 3.71. 1mm kapsülün eşdeğer elastik gerinim kabuk olarak karşılaştırılması a) 1mm A kapsülü b) 1mm b kapsülü c) 1mm C kapsülü d) 1mm D kapsülü e) 1mm E kapsülü f) 1mm F kapsülü

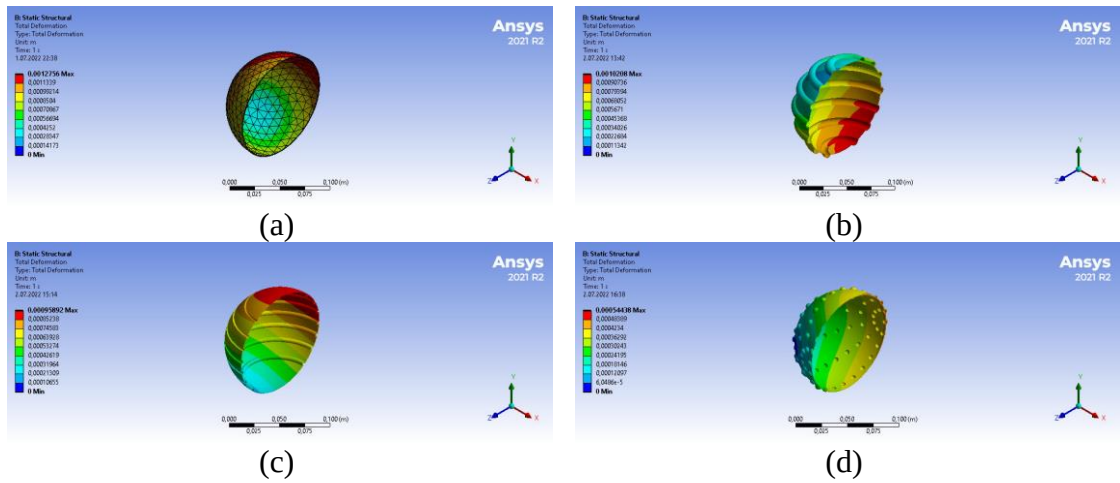


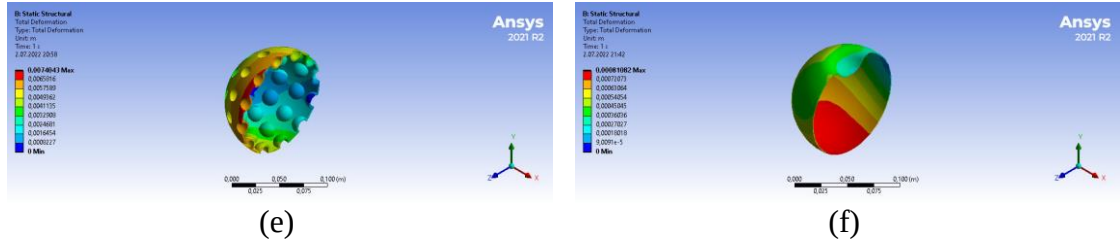
Şekil 3.72. 1mm kapsülün eşdeğer elastik gerinim kesit olarak karşılaştırılması a) 1mm A kapsülü b) 1mm B kapsülü c) 1mm C kapsülü d) 1mm D kapsülü e) 1mm E kapsülü f) 1mm F kapsülü



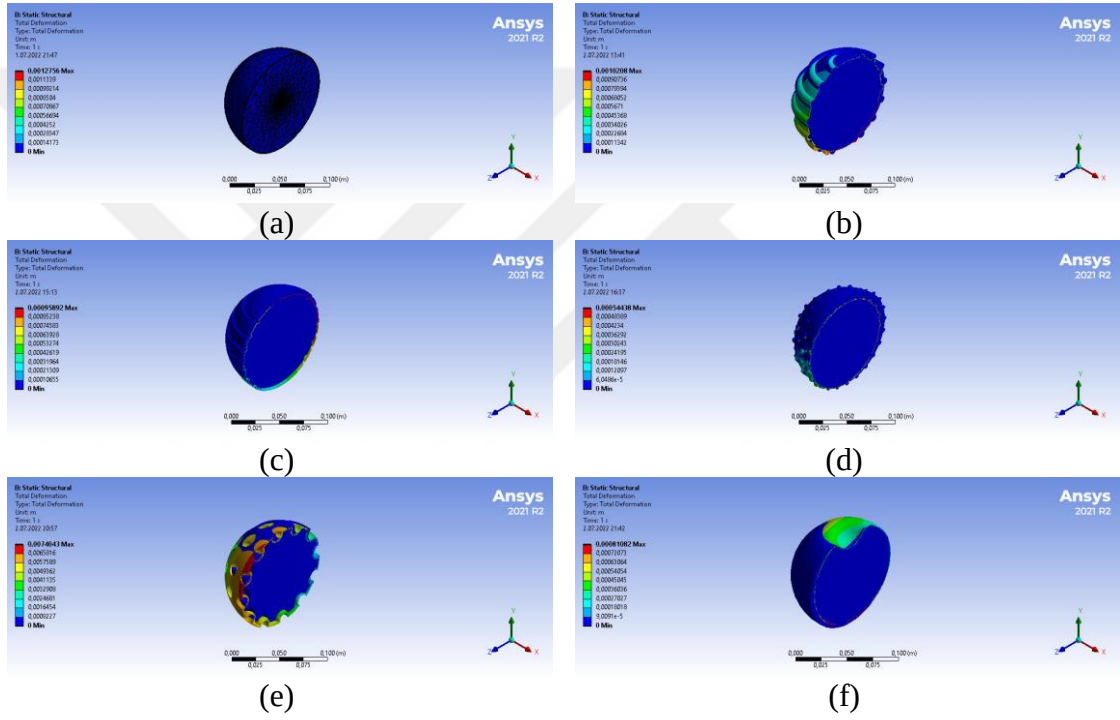
Şekil 3.73. 1mm kapsülün eşdeğer elastik gerinim kesit olarak karşılaştırılması a) 1mm A kapsülü b) 1mm B kapsülü c) 1mm C kapsülü d) 1mm D kapsülü e) 1mm E kapsülü f) 1mm F kapsülü

Şekil 3.71., Şekil 3.72., Şekil 3.73.'ü incelediğimizde; A kapsülünde $2,8662 \cdot 10^{-8}$ (m/m), B kapsülünde $2,8784 \cdot 10^{-8}$ (m/m), C kapsülünde $6,7668 \cdot 10^{-8}$ (m/m), D kapsülünde $2,1096 \cdot 10^{-6}$ (m/m), E kapsülünde $2,1504 \cdot 10^{-5}$ (m/m), F kapsülünde ise $8,4024 \cdot 10^{-7}$ (m/m) oranda şekil değiştirip tekrar eski haine gelme yeteneğine sahiptir.

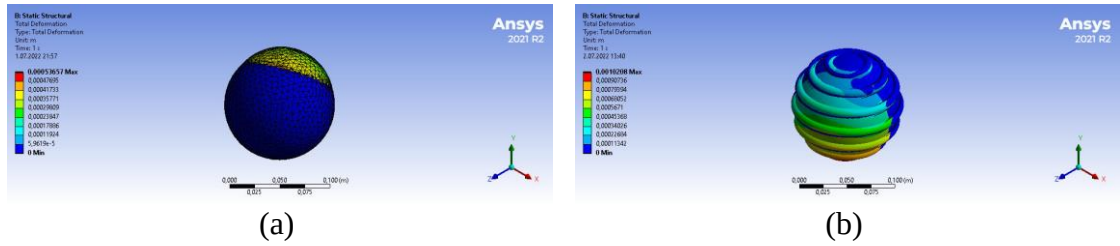


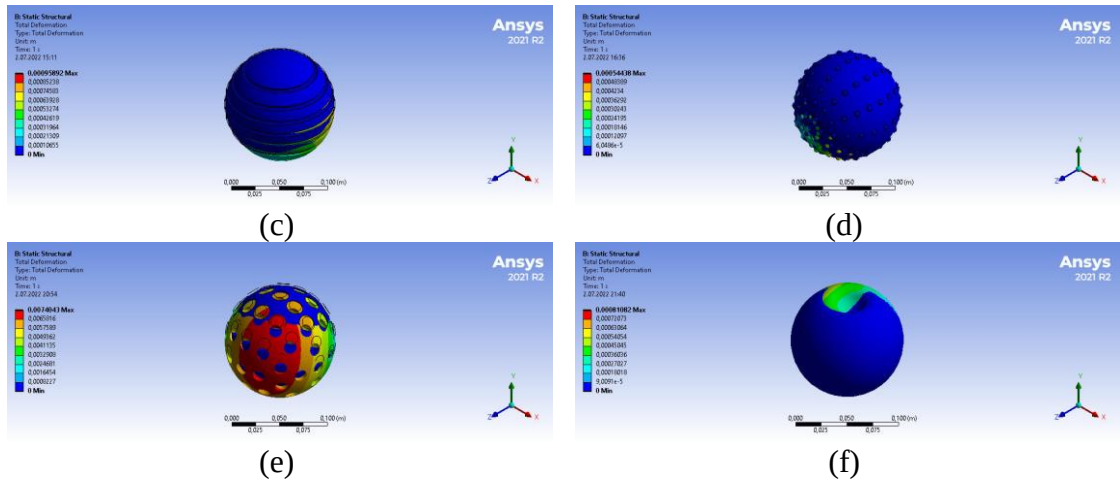


Şekil 3.74. 1mm kapsülün deformasyon kabuk olarak karşılaştırılması a) 1mm A kapsülü b) 1mm B kapsülü c) 1mm C kapsülü d) 1mm D kapsülü e) 1mm E kapsülü f) 1mm F kapsülü



Şekil 3.75. 1 mm kapsülün deformasyon kesit olarak karşılaştırılması a) 1mm A kapsülü b) 1mm B kapsülü c) 1mm C kapsülü d) 1mm D kapsülü e) 1mm E kapsülü f) 1mm F kapsülü



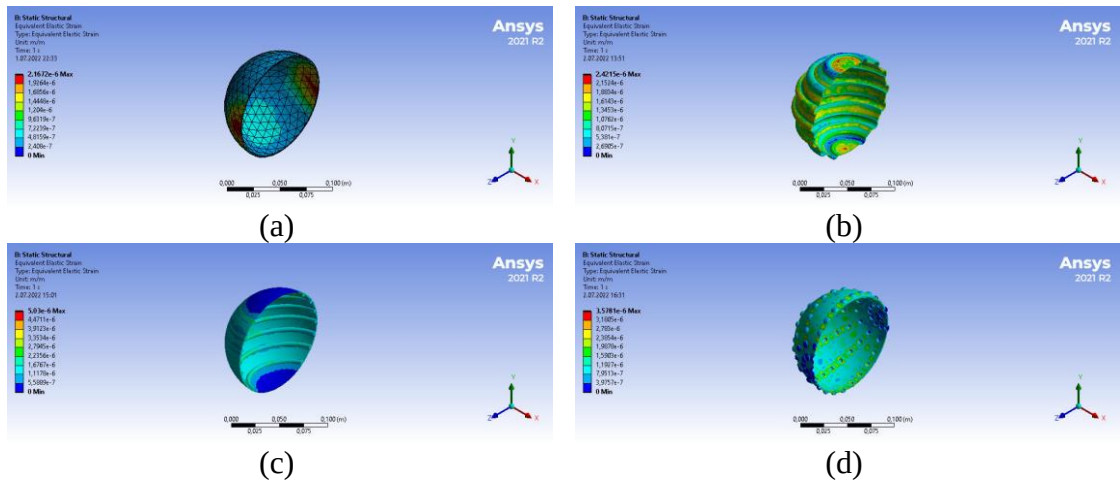


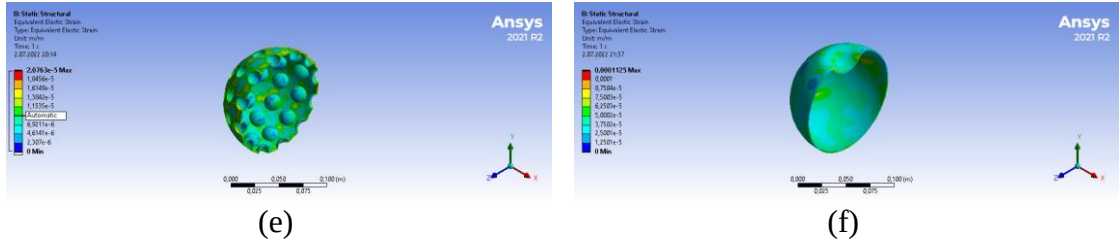
Şekil 3.76. 1mm kapsülün deformasyon bütünsel olarak karşılaştırılması a) 1mm A kapsülü b) 1mm B kapsülü c) 1mm C kapsülü d) 1mm D kapsülü e) 1mm E kapsülü f) 1mm F kapsülü

Şekil 3.74., Şekil 3.75., Şekil 3.76.'ü incelediğimizde; A kapsülünde $1,2756 \cdot 10^{-4}$ m, B kapsülünde $1,0208 \cdot 10^{-3}$ m, C kapsülünde $9,5892 \cdot 10^{-4}$ m, D kapsülünde $5,4438 \cdot 10^{-4}$ m, E kapsülünde $7,4043 \cdot 10^{-3}$ m, F kapsülünde $8,1082 \cdot 10^{-4}$ m mesafesinde deformasyona uğramıştır.

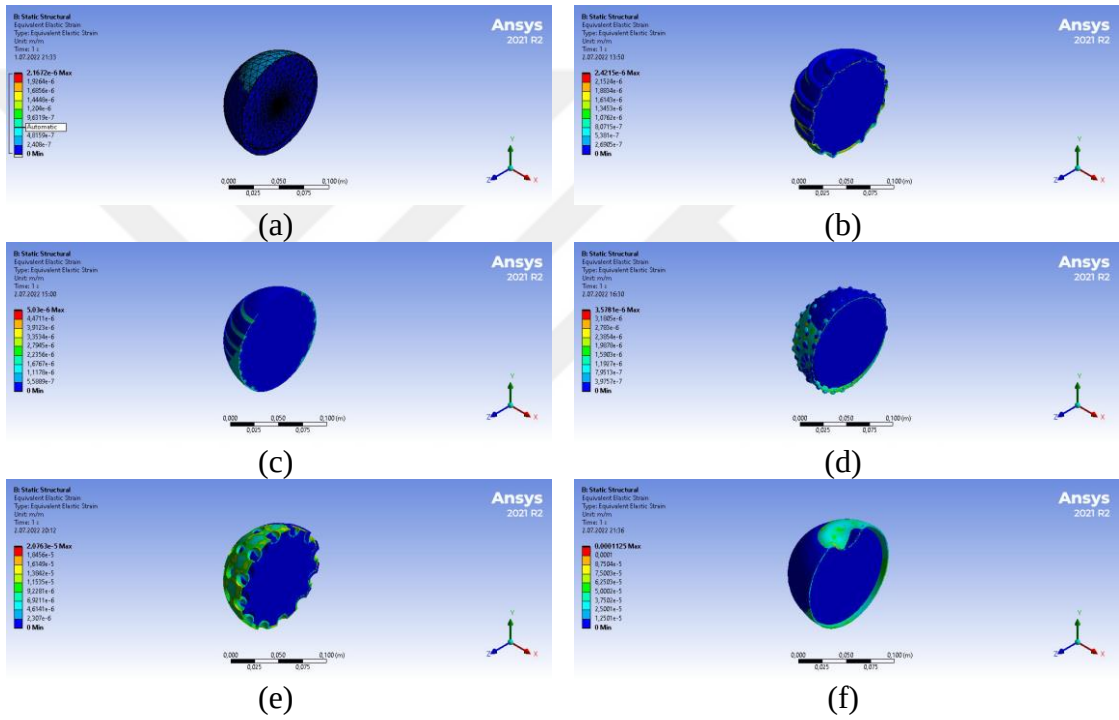
3.2.9. 1,5 mm Kapsüllerin Gerilim ve Deformasyon Analiz Karşılaştırmaları

Bu bölümde 1,5mm kapsüllerinin farklı tip kapsüllerde Ansys programında yapılan çalışmalar sonucunda alınan eşdeğer elastik gerilim, deformasyon incelemelerinin kabuk, kesit, bütünsel olarak incelenmiştir.

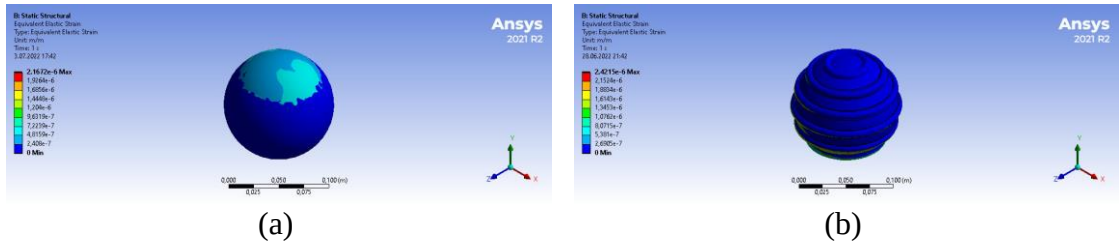


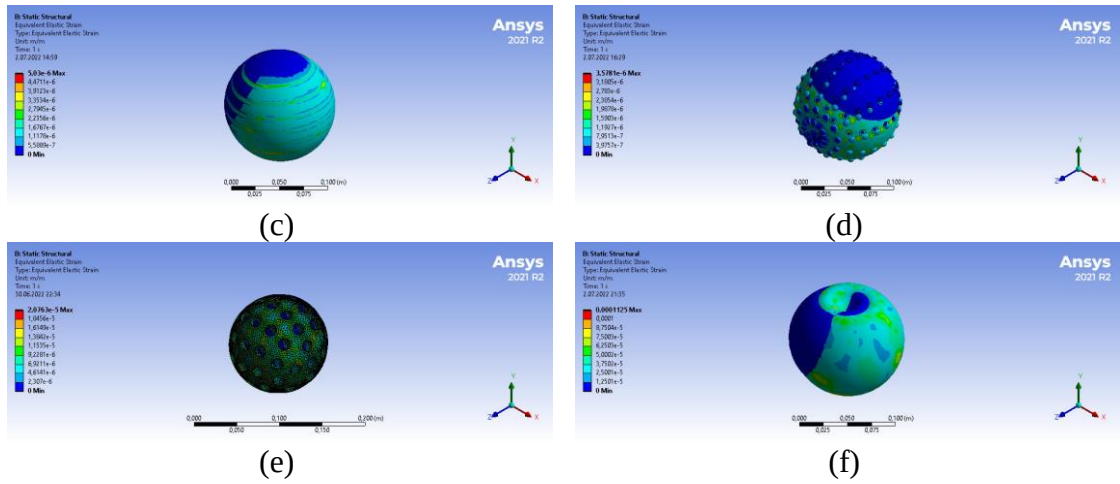


Şekil 3.77. 1,5 mm kapsülün eşdeğer elastik gerinim kabuk olarak karşılaştırılması a) 1,5mm A kapsülü b) 1,5mm B kapsülü c) 1,5mm C kapsülü d) 1,5mm D kapsülü e) 1,5mm E kapsülü f) 1,5mm F kapsülü



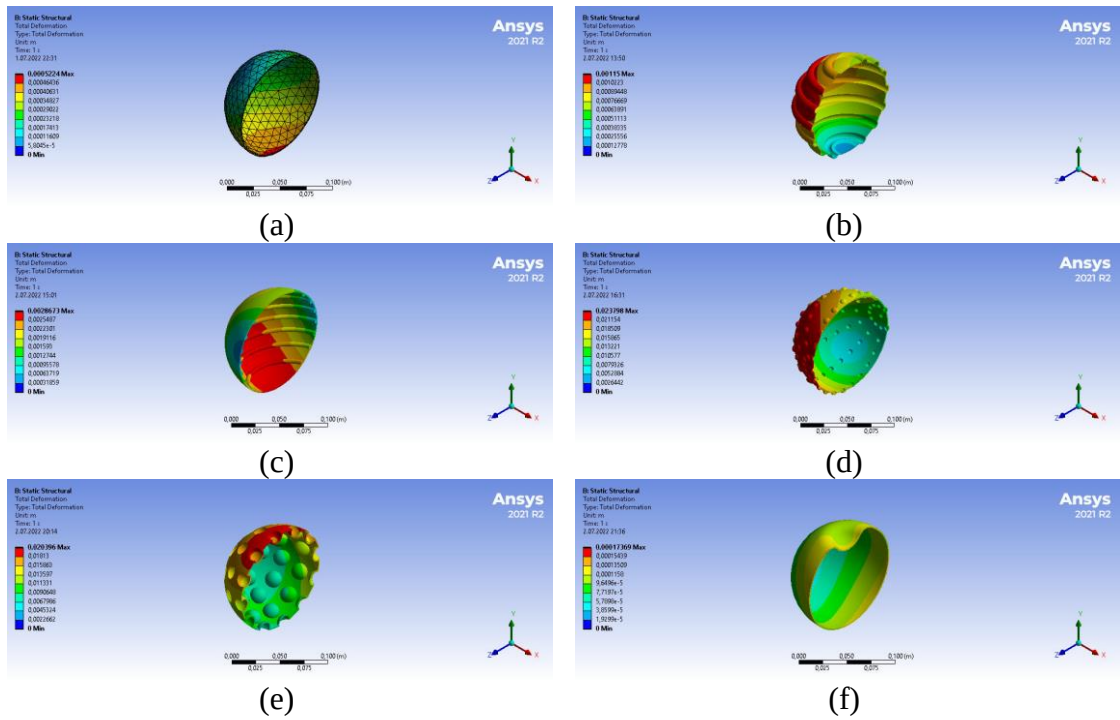
Şekil 3.78. 1,5 mm kapsülün eşdeğer elastik gerinim kesit olarak karşılaştırılması a) 1,5mm A kapsülü b) 1,5mm B kapsülü c) 1,5mm C kapsülü d) 1,5mm D kapsülü e) 1,5mm E kapsülü f) 1,5mm F kapsülü



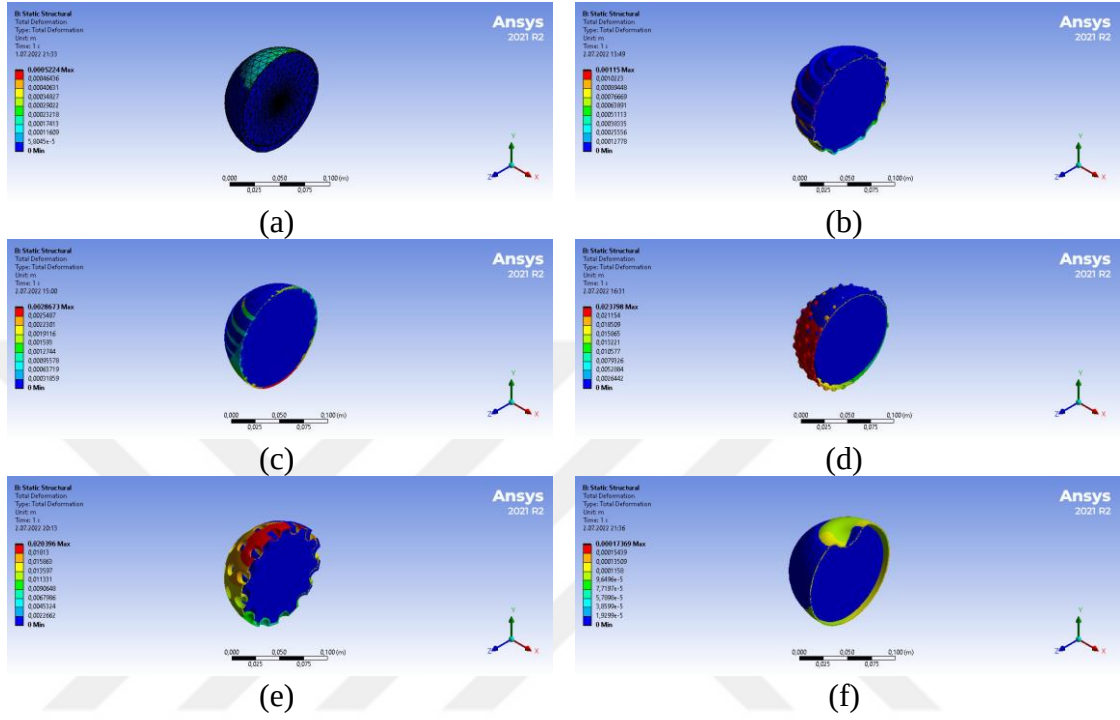


Şekil 3.79. 1,5 mm kapsülün eşdeğer elastik gerinim bütünsel olarak karşılaştırılması a) 1,5mm A kapsülü b) 1,5mm B kapsülü c) 1,5mm C kapsülü d) 1,5mm D kapsülü e) 1,5mm E kapsülü f) 1,5mm F kapsülü

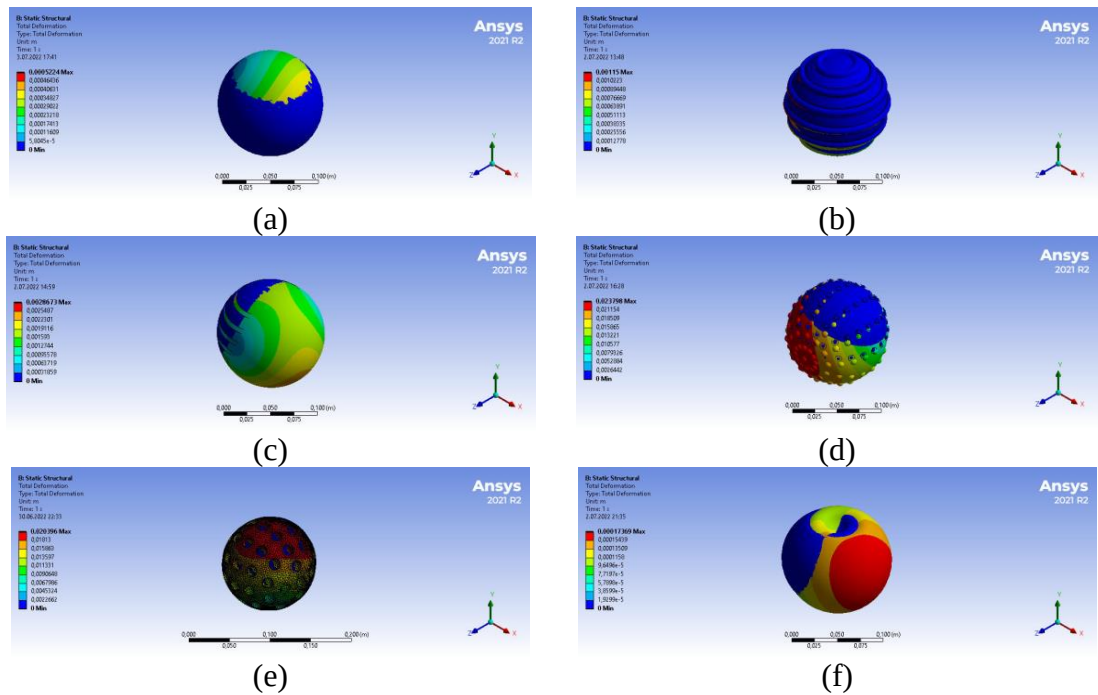
Şekil 3.77., Şekil 3.78., Şekil 3.79.'ü incelediğimizde; A kapsülünde $2,1672 \cdot 10^{-6}$ (m/m), B kapsülünde $2,4215 \cdot 10^{-6}$ (m/m), C kapsülünde $5,03 \cdot 10^{-6}$ (m/m), D kapsülünde $3,5781 \cdot 10^{-6}$ (m/m), E kapsülünde $2,0763 \cdot 10^{-5}$ (m/m), F kapsülünde ise $1,1174 \cdot 10^{-5}$ (m/m) oranda şekil değiştirip tekrar eski haine gelme yeteneğine sahiptir.



Şekil 3.80. 1,5 mm kapsülün deformasyon kabuk olarak karşılaştırılması a) 1,5mm A kapsülü b) 1,5mm B kapsülü c) 1,5mm C kapsülü d) 1,5mm D kapsülü e) 1,5mm E kapsülü f) 1,5mm F kapsülü



Şekil 3.81. 1,5 mm kapsülün deformasyon kesit olarak karşılaştırılması a) 1,5mm A kapsülü b) 1,5mm B kapsülü c) 1,5mm C kapsülü d) 1,5mm D kapsülü e) 1,5mm E kapsülü f) 1,5mm F kapsülü

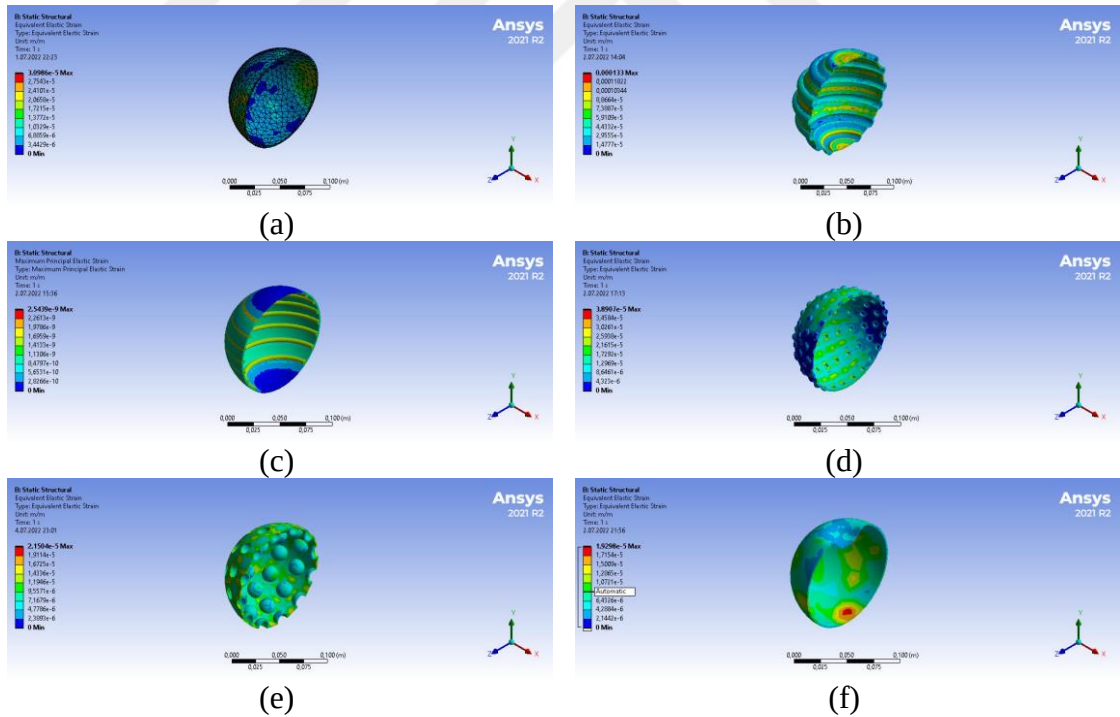


Şekil 3.82. 1,5 mm kapsülün deformasyon bütünsel olarak karşılaştırılması a) 1,5mm A kapsülü b) 1,5mm B kapsülü c) 1,5mm C kapsülü d) 1,5mm D kapsülü e) 1,5mm E kapsülü f) 1,5mm F kapsülü

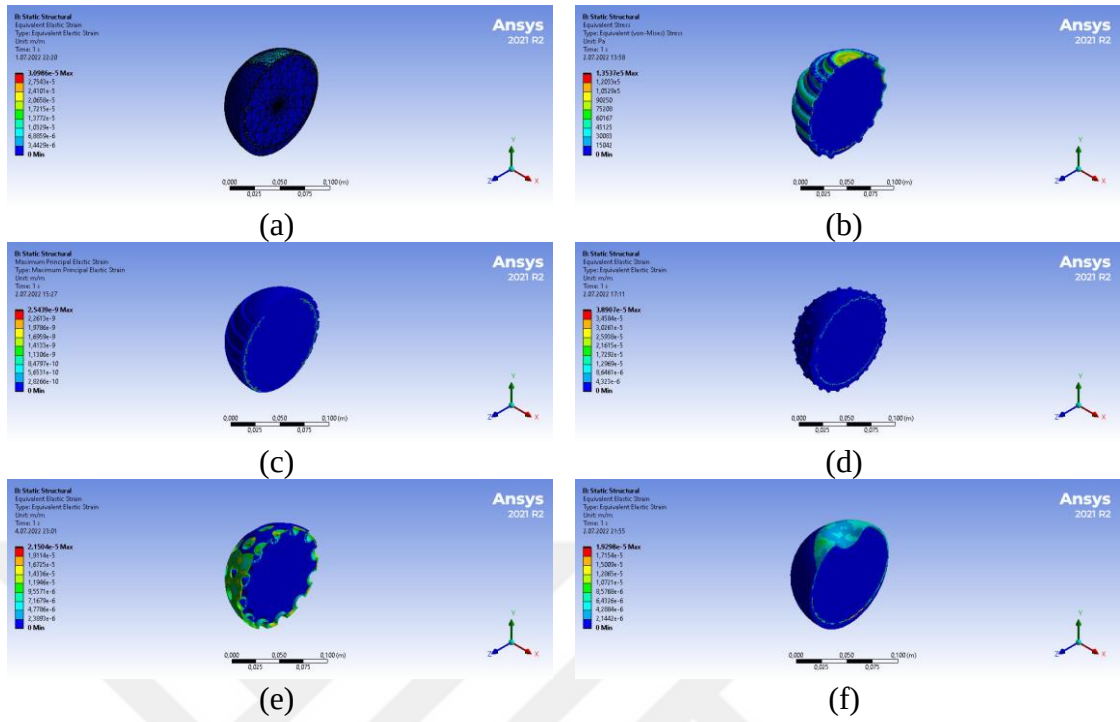
Şekil 3.80., Şekil 3.81., Şekil 3.82.'ü incelediğimizde; A kapsülünde $5,224.10^{-4}$ m, B kapsülünde $1,15.10^{-3}$ m, C kapsülünde $2,8673.10^{-4}$ m, D kapsülünde $2,3798.10^{-2}$ m, E kapsülünde $2,0396.10^{-2}$ m, F kapsülünde $1,7369.10^{-4}$ m mesafesinde deformasyona uğramıştır.

3.2.10. 2mm Kapsüllerin Gerilim ve Deformasyon Analiz Karşılaştırmaları

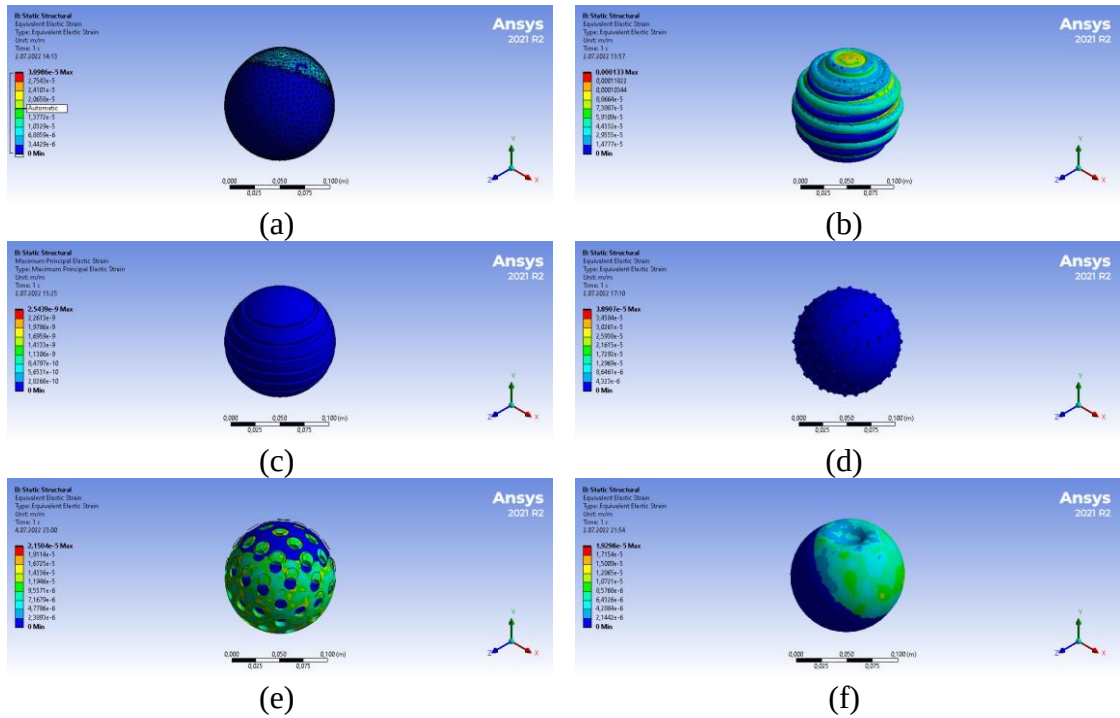
Bu bölümde 2mm kapsüllerinin farklı tip kapsüllerde Ansys programında yapılan çalışmalar sonucunda alınan eşdeğer elastik gerinim, deformasyon incelemelerinin kabuk, kesit, bütünsel olarak incelenmiştir.



Şekil 3.83. 2 mm kapsülün eşdeğer elastik gerinim kabuk olarak karşılaştırılması a) 2mm A kapsülü b) 2mm B kapsülü c) 2mm C kapsülü d) 2mm D kapsülü e) 2mm E kapsülü f) 2mm F kapsülü

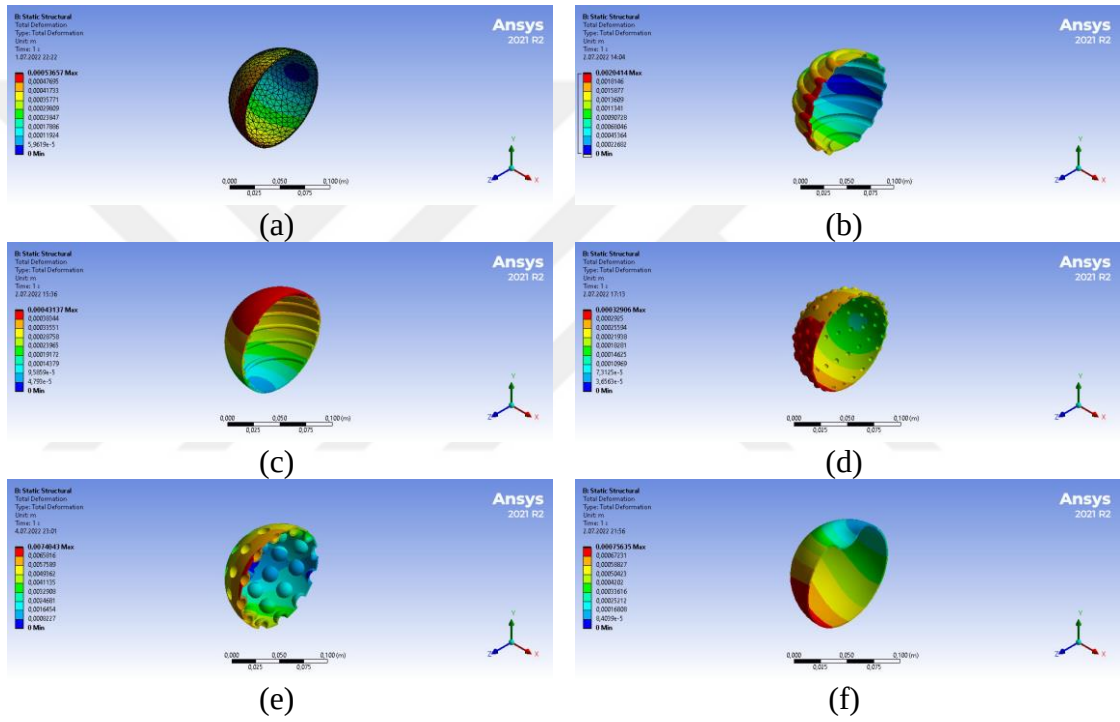


Şekil 3.84. 2 mm kapsülün eşdeğer elastik gerinim kesit olarak karşılaştırılması a) 2mm A kapsülü b) 2mm B kapsülü c) 2mm C kapsülü d) 2mm D kapsülü e) 2mm E kapsülü f) 2mm F kapsülü

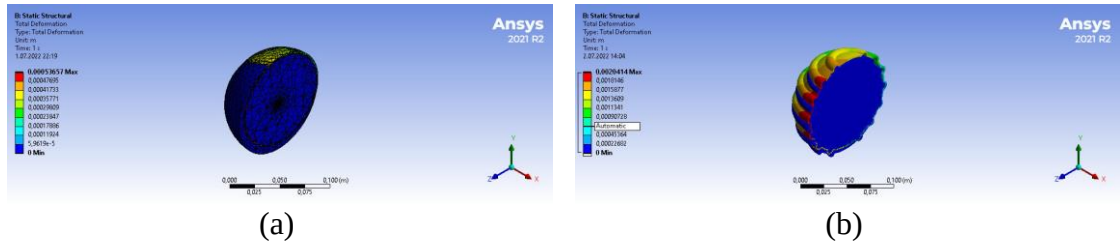


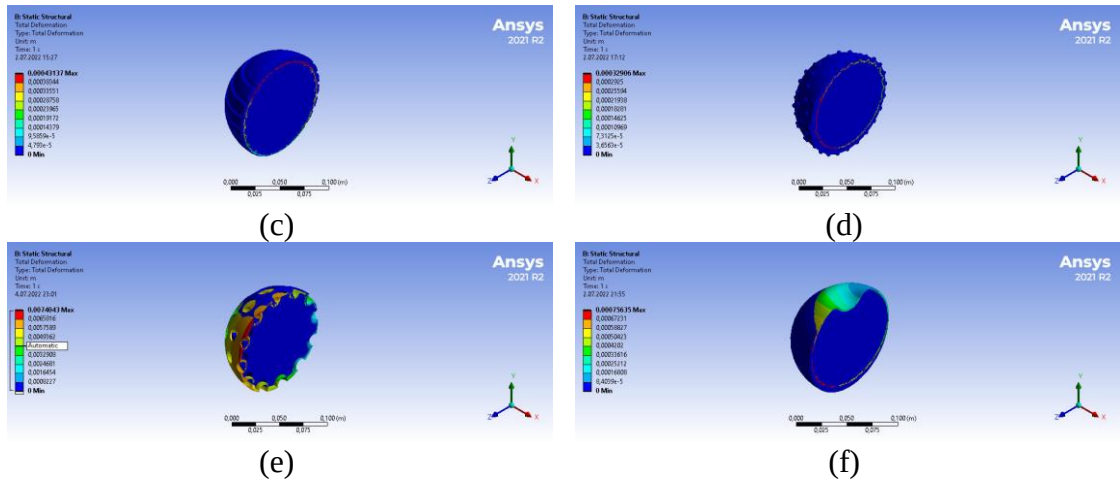
Şekil 3.85. 2 mm kapsülün eşdeğer elastik gerinim bütünsel olarak karşılaştırılması a) 2mm A kapsülü b) 2mm B kapsülü c) 2mm C kapsülü d) 2mm D kapsülü e) 2mm E kapsülü f) 2mm F kapsülü

Şekil 3.83., Şekil 3.84., Şekil 3.85.'ü incelediğimizde; A kapsülünde $3,0896 \cdot 10^{-5}$ (m/m), B kapsülünde $1,33 \cdot 10^{-4}$ (m/m), C kapsülünde $2,5439 \cdot 10^{-9}$ (m/m), D kapsülünde $3,8907 \cdot 10^{-5}$ (m/m), E kapsülünde $2,1504 \cdot 10^{-5}$ (m/m), F kapsülünde ise $1,9298 \cdot 10^{-5}$ (m/m) oranda şekil değiştirip tekrar eski haine gelme yeteneğine sahiptir.

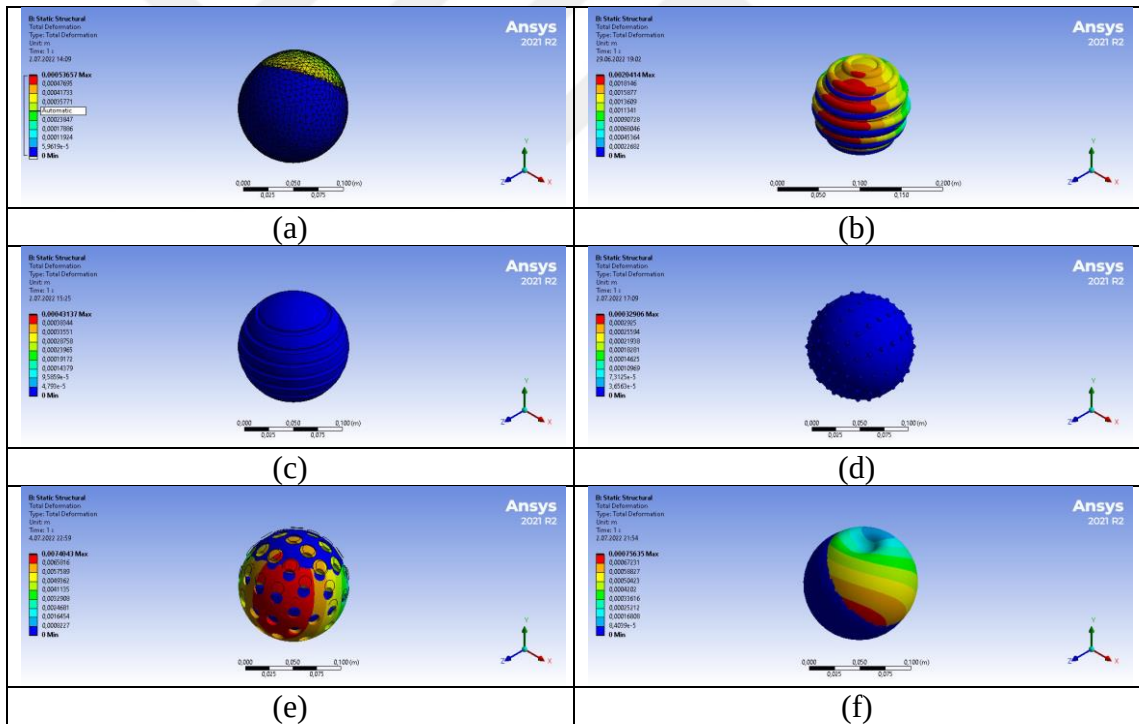


Şekil 3.86. 2 mm kapsülün deformasyon kabuk olarak karşılaştırılması a) 2mm A kapsülü b) 2mm B kapsülü c) 2mm C kapsülü d) 2mm D kapsülü e) 2mm E kapsülü f) 2mm F kapsülü





Şekil 3.87. 2 mm kapsülün deformasyon kesit olarak karşılaştırılması a) 2mm A kapsülü b) 2mm B kapsülü c) 2mm C kapsülü d) 2mm D kapsülü e) 2mm E kapsülü f) 2mm F kapsülü



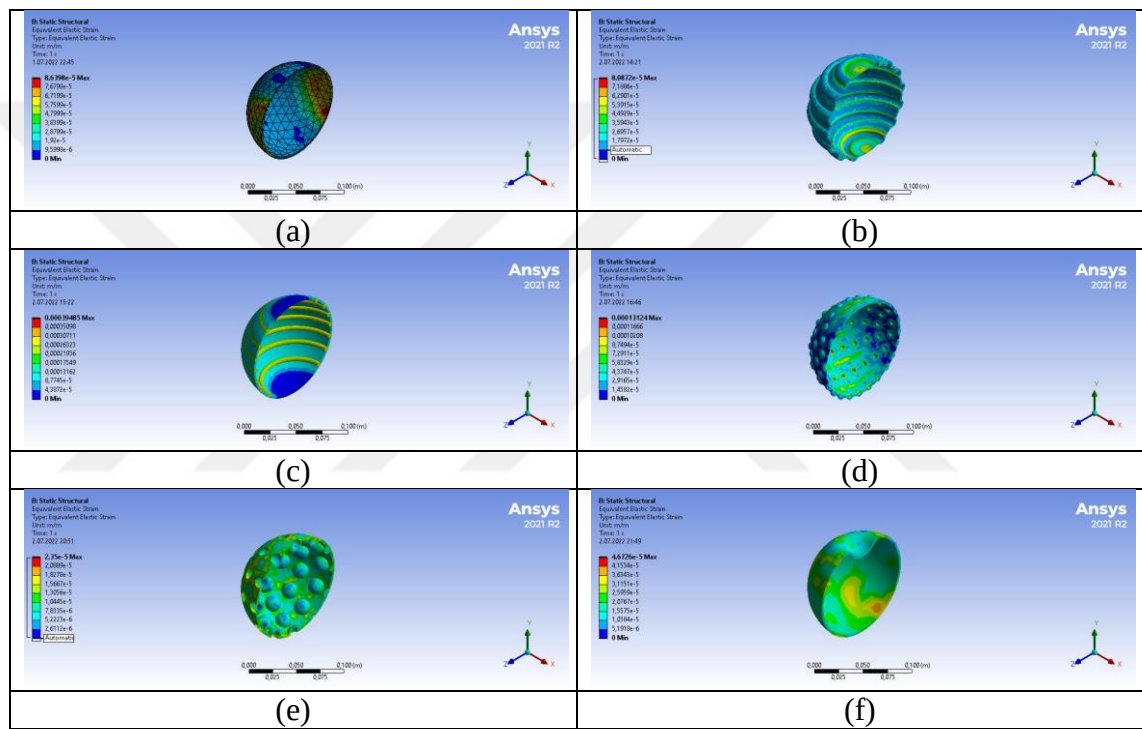
Şekil 3.88. 2 mm kapsülün deformasyon bütünsel olarak karşılaştırılması a) 2mm kapsülü b) 2mm B kapsülü c) 2mm C kapsülü d) 2mm D kapsülü e) 2mm E kapsülü f) 2mm F kapsülü

Şekil 3.86., Şekil 3.87., Şekil 3.88.'ü incelediğimizde; A kapsülünde $4,0935 \cdot 10^{-4}$ m, B kapsülünde $2,0414 \cdot 10^{-3}$ m, C kapsülünde $1,7369 \cdot 10^{-4}$ m, D kapsülünde $3,2906 \cdot 10^{-4}$ m, E

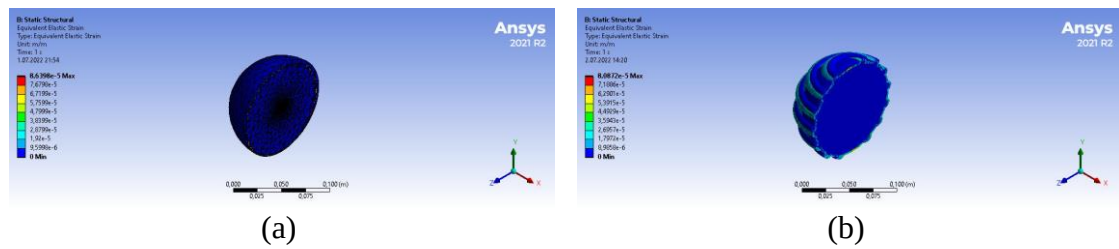
kapsülünde $7,4043.10^{-3}$ m, F kapsülünde $7,5635.10^{-4}$ m mesafesinde deformasyona uğramıştır.

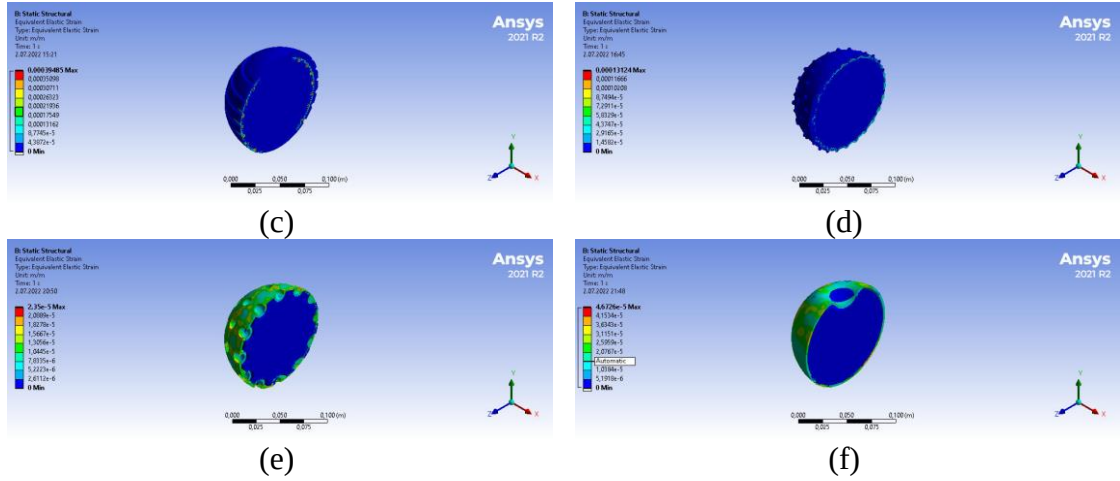
3.2.11. 2,5mm Kapsüllerin Gerilim ve Deformasyon Analiz Karşılaştırmaları

Bu bölümde 2,5mm kapsüllerinin farklı tip kapsüllerde Ansys programında yapılan çalışmalar sonucunda alınan eşdeğer elastik gerinim, deformasyon incelemelerinin kabuk, kesit, bütünsel olarak incelenmiştir.

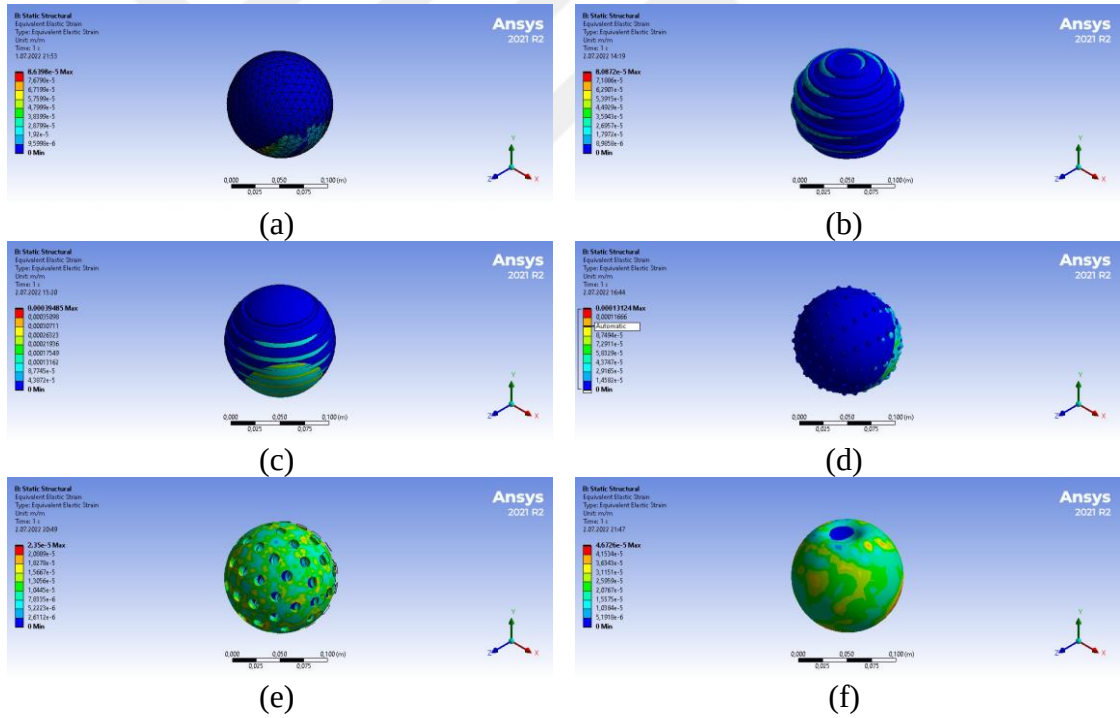


Şekil 3.89. 2,5 mm kapsülün eşdeğer elastik gerinim kabuk olarak karşılaştırılması a) 2,5mm A kapsülü b) 2,5mm B kapsülü c) 2,5mm C kapsülü d) 2,5mm D kapsülü e) 2,5mm E kapsülü f) 2,5mm F kapsülü





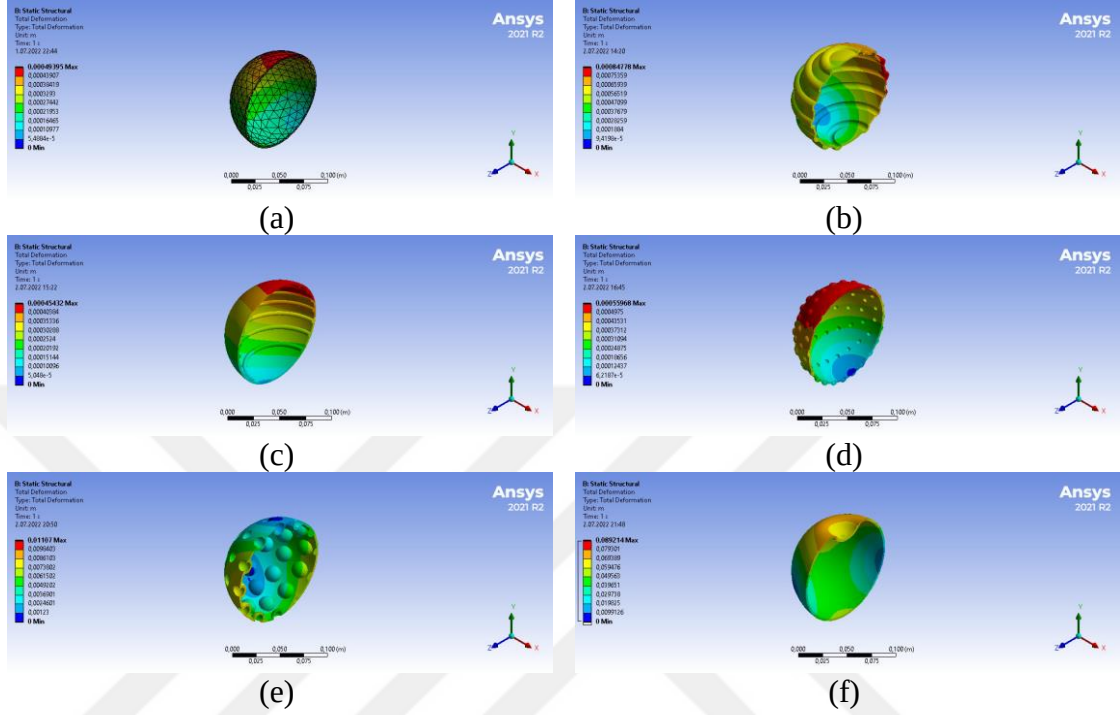
Şekil 3.90. 2,5 mm kapsülün eşdeğer elastik gerinim kesit olarak karşılaştırılması a) 2,5mm A kapsülü b) 2,5mm B kapsülü c) 2,5mm C kapsülü d) 2,5mm D kapsülü e) 2,5mm E kapsülü f) 2,5mm F kapsülü



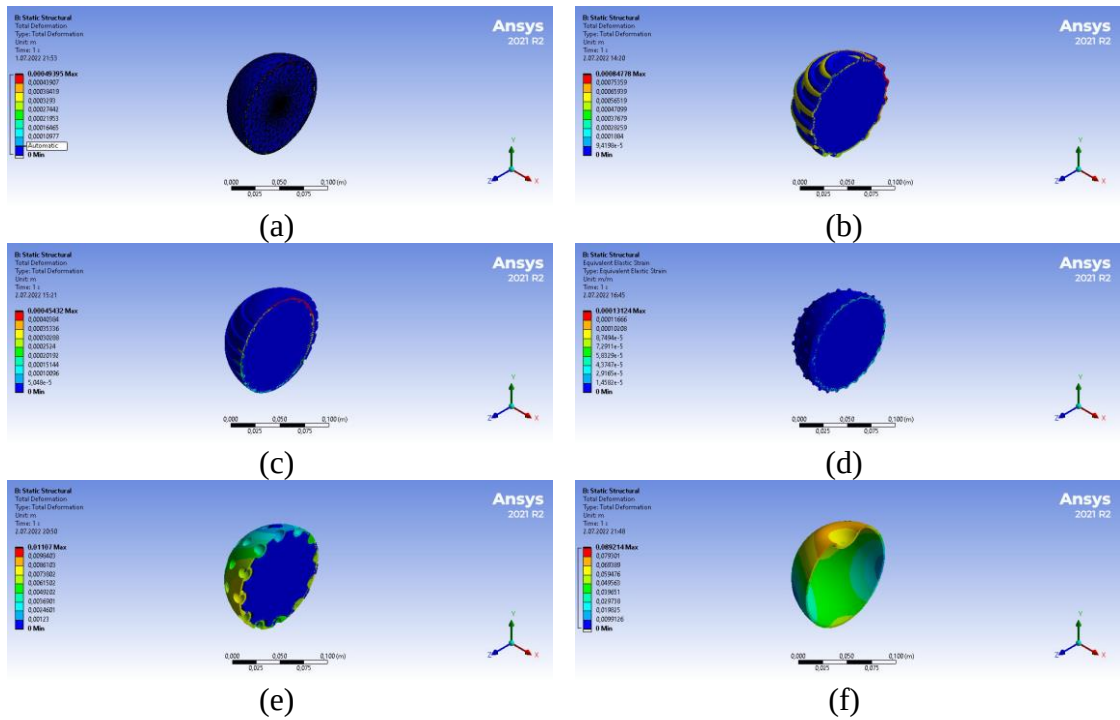
Şekil 3.91. 2,5 mm kapsülün eşdeğer elastik gerinim bütünsel olarak karşılaştırılması a) 2,5mm A kapsülü b) 2,5mm B kapsülü c) 2,5mm C kapsülü d) 2,5mm D kapsülü e) 2,5mm E kapsülü f) 2,5mm F kapsülü

Şekil 3.89., Şekil 3.90., Şekil 3.91.'ü incelediğimizde; A kapsülünde $8,6398 \cdot 10^{-5}$ (m/m), B kapsülünde $8,0872 \cdot 10^{-5}$ (m/m), C kapsülünde $3,9485 \cdot 10^{-4}$ (m/m), D kapsülünde

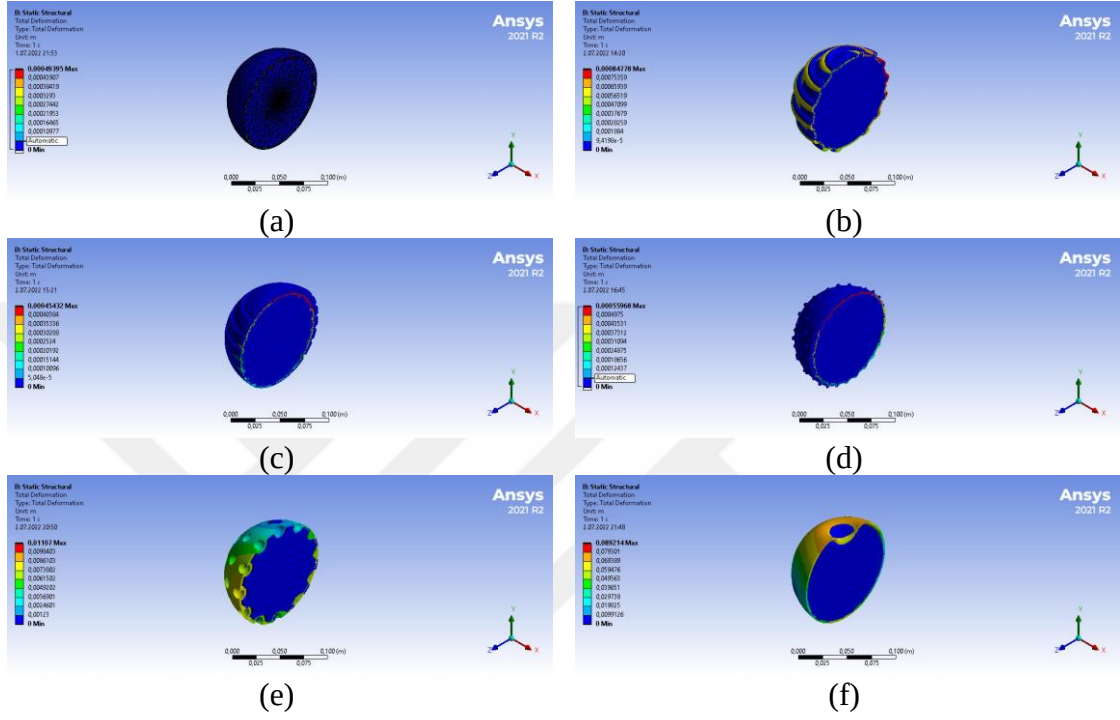
$1,3124 \cdot 10^{-4}$ (m/m), E kapsülünde $2,350 \cdot 10^{-5}$ (m/m), F kapsülünde ise $4,6726 \cdot 10^{-5}$ (m/m) oranda şekil değiştirip tekrar eski haine gelme yeteneğine sahiptir.



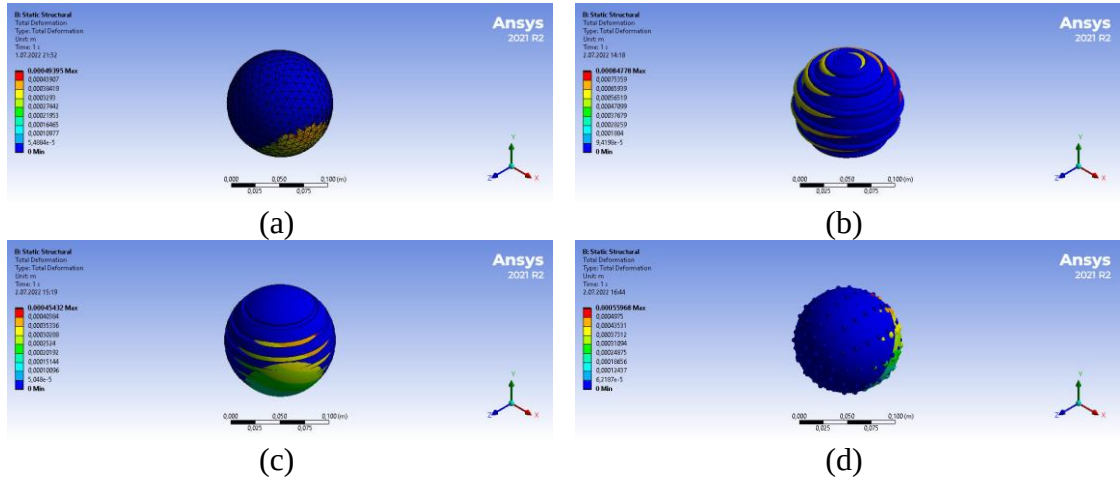
Şekil 3.92. 2,5 mm kapsülün deformasyon kabuk olarak karşılaştırılması a) 2,5mm A kapsülü b) 2,5mm B kapsülü c) 2,5mm C kapsülü d) 2,5mm D kapsülü e) 2,5mm E kapsülü f) 2,5mm F kapsülü

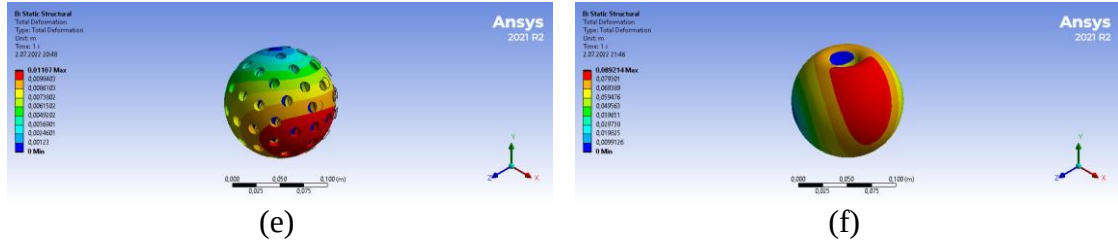


Şekil 3.93. 2,5 mm kapsülün deformasyon kesit olarak karşılaştırılması a) 2,5mm A kapsülü b) 2,5mm B kapsülü c) 2,5mm C kapsülü d) 2,5mm D kapsülü e) 2,5mm E kapsülü f) 2,5mm F kapsülü



Şekil 3.93. 2,5 mm kapsülün deformasyon kesit olarak karşılaştırılması a) 2,5mm A kapsülü b) 2,5mm B kapsülü c) 2,5mm C kapsülü d) 2,5mm D kapsülü e) 2,5mm E kapsülü f) 2,5mm F kapsülü



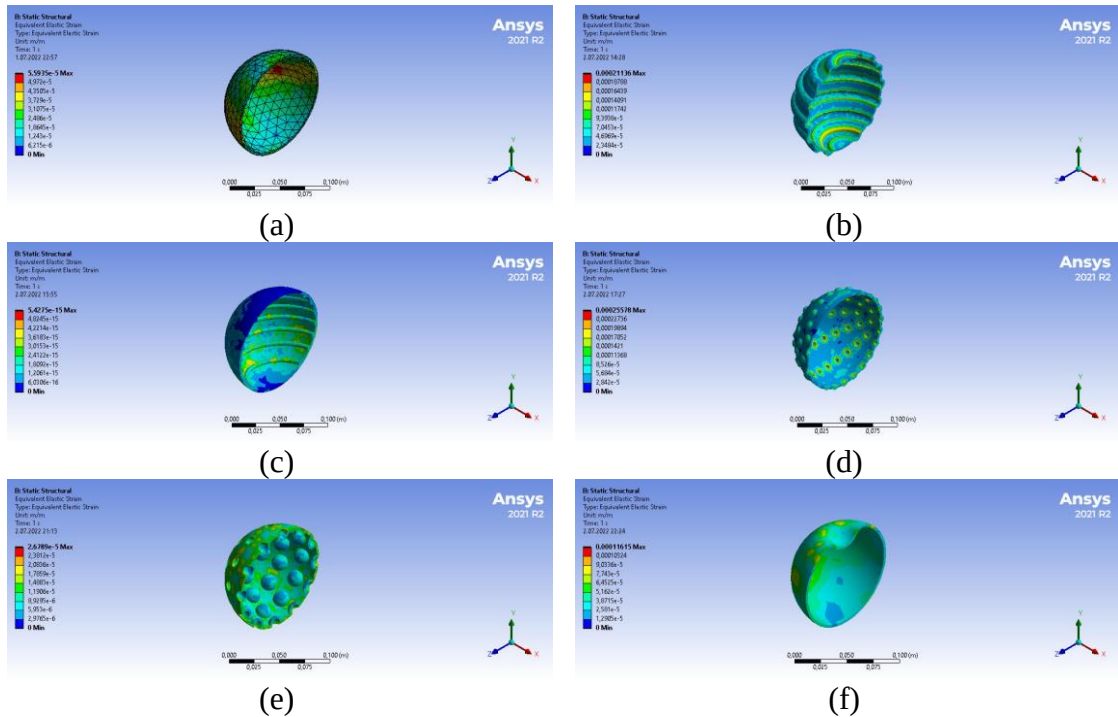


Şekil 3.94. 2,5 mm kapsülün deformasyon kesit olarak karşılaştırılması a) 2,5mm A kapsülü b) 2,5mm B kapsülü c) 2,5mm C kapsülü d) 2,5mm D kapsülü e) 2,5mm E kapsülü f) 2,5mm F kapsülü

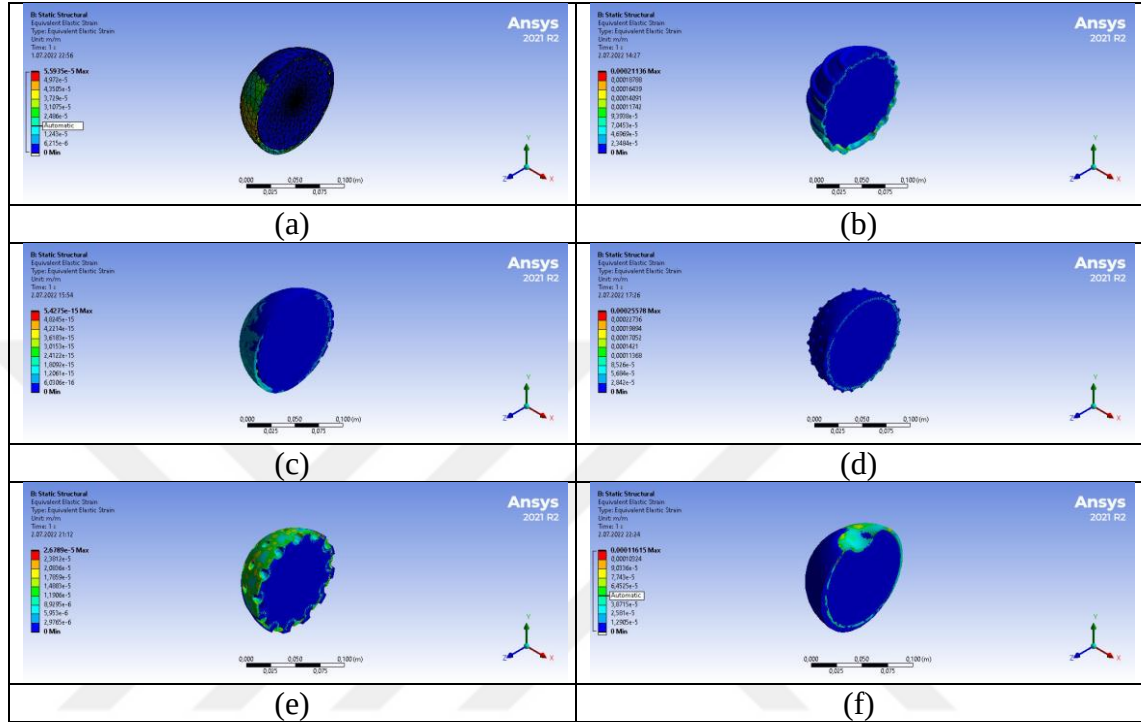
Şekil 3.92., Şekil 3.93., Şekil 3.94.'ü incelediğimizde; A kapsülünde $4,0935 \cdot 10^{-4}$ m, B kapsülünde $8,4778 \cdot 10^{-4}$ m, C kapsülünde $4,5432 \cdot 10^{-4}$ m, D kapsülünde $5,5968 \cdot 10^{-4}$ m, E kapsülünde $1,107 \cdot 10^{-2}$ m, F kapsülünde $8,9214 \cdot 10^{-2}$ m mesafesinde deformasyona uğramıştır.

3.1.12. 3 mm Kapsüllerin Gerilim ve Deformasyon Analiz Karşılaştırmaları

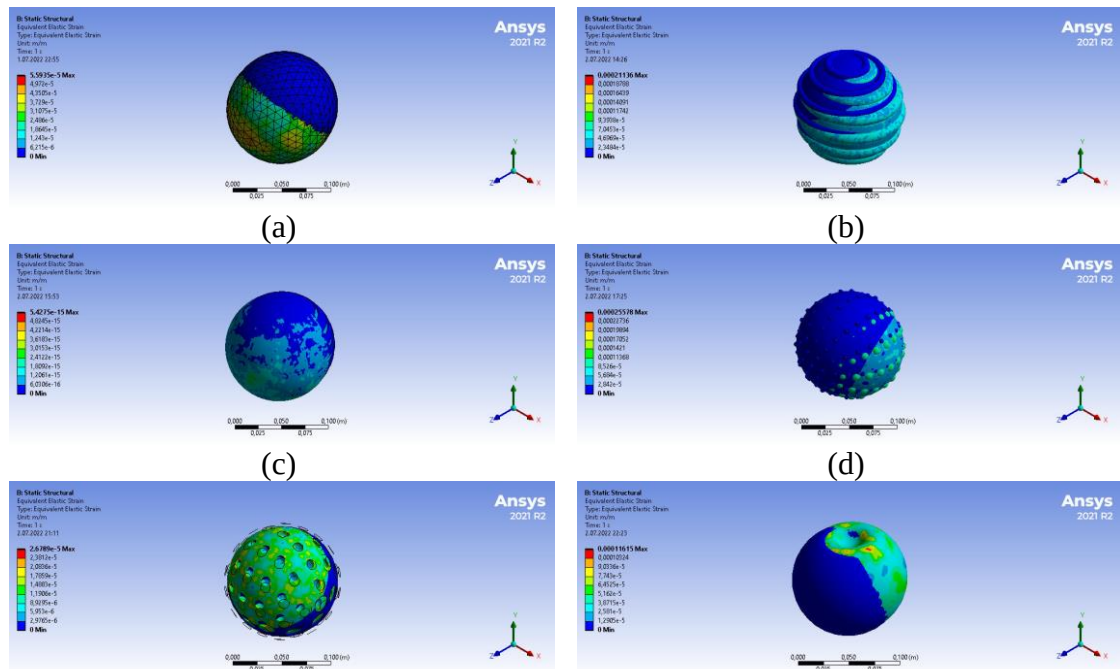
Bu bölümde 3mm kapsüllerinin farklı tip kapsüllerde Ansys programında yapılan çalışmalar sonucunda alınan eşdeğer elastik gerilim, deformasyon incelemelerinin kabuk, kesit, bütünsel olarak incelenmiştir.



Şekil 3.95. 3 mm kapsülün eşdeğer elastik gerinim kabuk olarak karşılaştırılması a) 3mm A kapsülü b) 3mm B kapsülü c) 3mm C kapsülü d) 3mm D kapsülü e) 3mm E kapsülü f) 3mm F kapsülü



Şekil 3.96. 3 mm kapsülün eşdeğer elastik gerinim kesit olarak karşılaştırılması a) 3mm A kapsülü b) 3mm B kapsülü c) 3mm C kapsülü d) 3mm D kapsülü e) 3mm E kapsülü f) 3mm F kapsülü

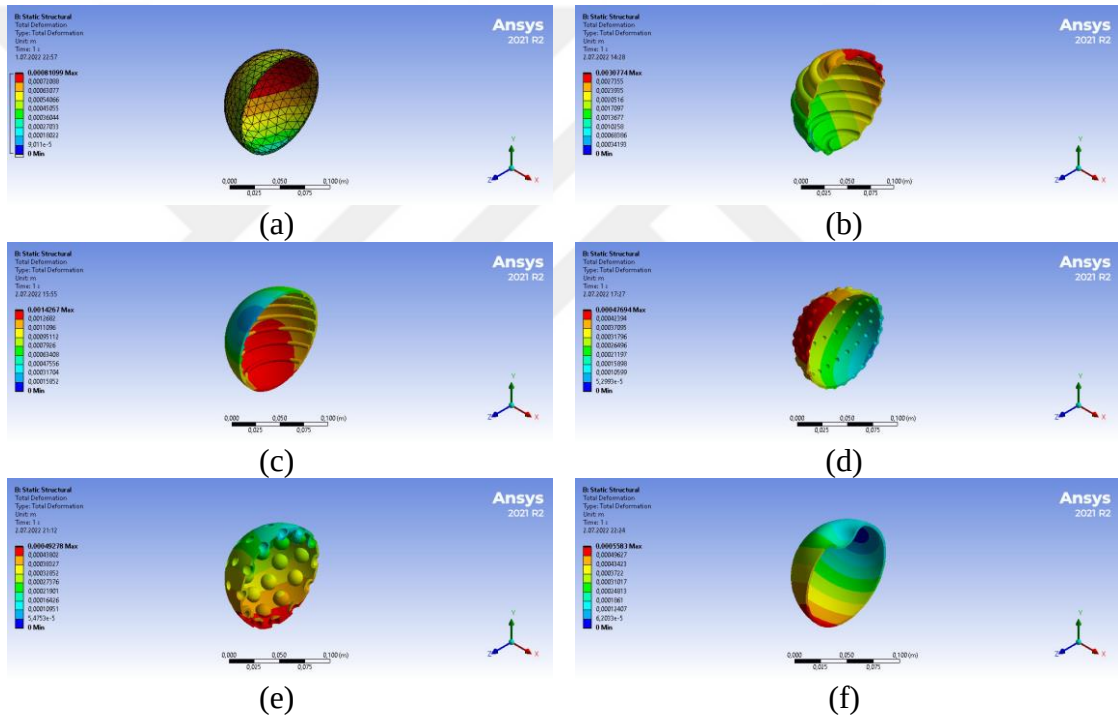


(e)

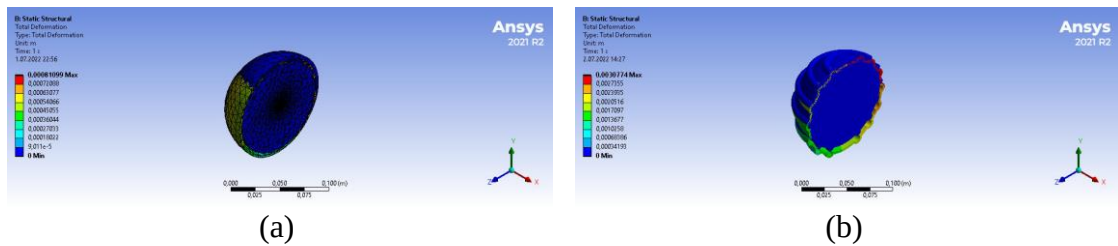
(f)

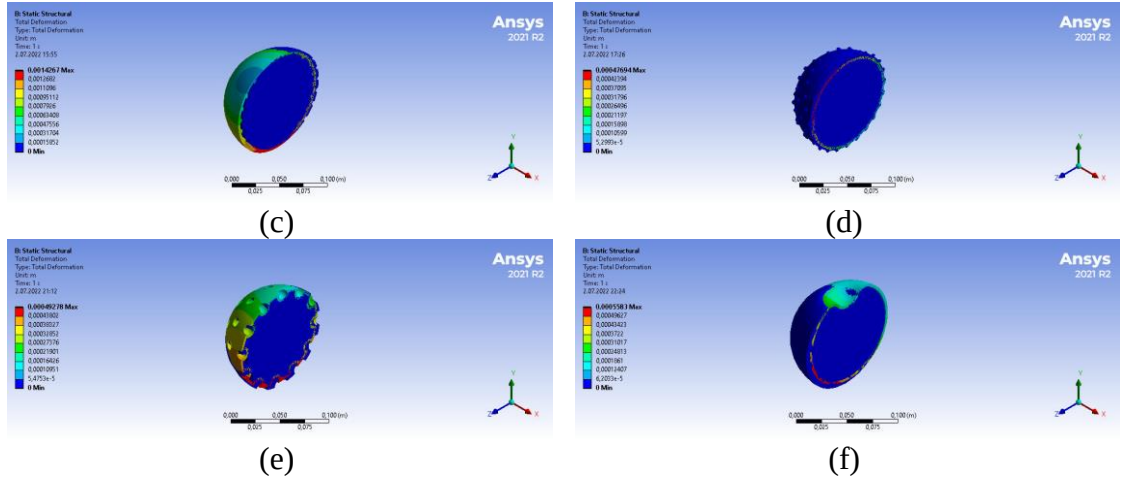
Şekil 3.97. 3 mm kapsülün eşdeğer elastik gerinim kabuk olarak karşılaştırılması a) 3mm A kapsülü b) 3mm B kapsülü c) 3mm C kapsülü d) 3mm D kapsülü e) 3mm E kapsülü f) 3mm F kapsülü

Şekil 3.95., Şekil 3.96., Şekil 3.97.'ü incelediğimizde; A kapsülünde $1,613.10^{-4}$ (m/m), B kapsülünde $2,1136.10^{-4}$ (m/m), C kapsülünde $5,4275.10^{-15}$ (m/m), D kapsülünde $2,5578.10^{-4}$ (m/m), E kapsülünde $2,6789.10^{-5}$ (m/m), F kapsülünde ise $1,1615.10^{-4}$ (m/m) oranda şekil değiştirip tekrar eski haine gelme yeteneğine sahiptir.

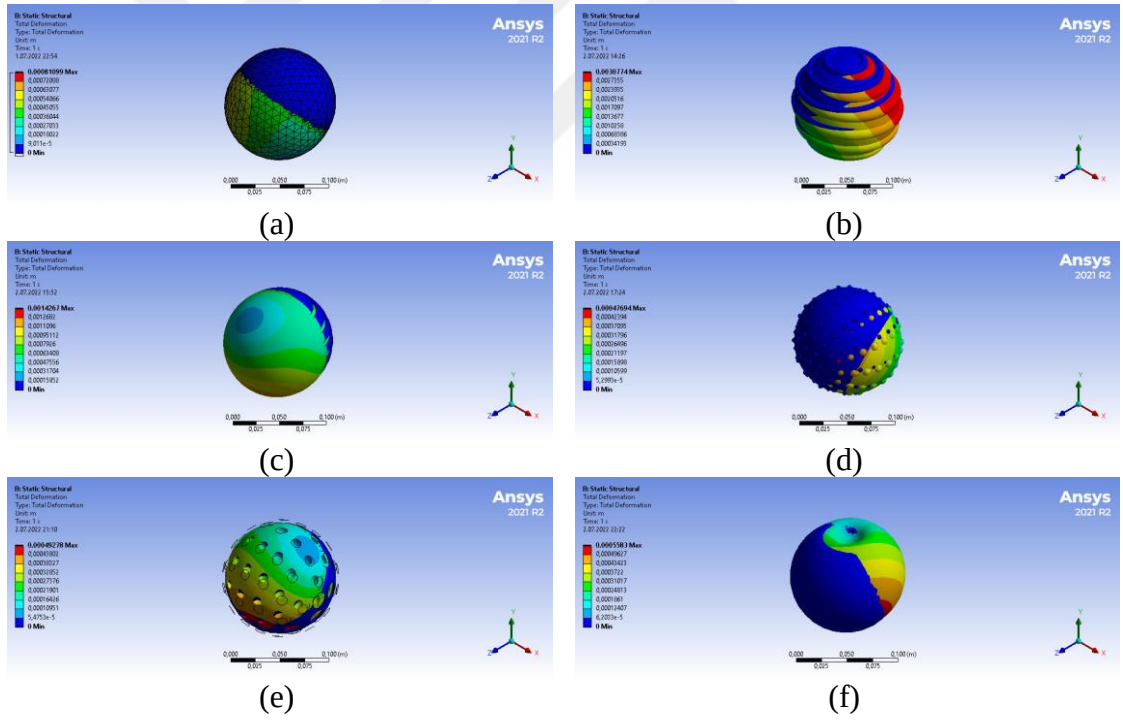


Şekil 3.98. 3 mm kapsülün deformasyon kabuk olarak karşılaştırılması a) 3mm A kapsülü b) 3mm B kapsülü c) 3mm C kapsülü d) 3mm D kapsülü e) 3mm E kapsülü f) 3mm F kapsülü





Şekil 3.99. 3 mm kapsülün deformasyon kesit olarak karşılaştırılması a) 3mm A kapsülü b) 3mm B kapsülü c) 3mm C kapsülü d) 3mm D kapsülü e) 3mm E kapsülü f) 3mm F kapsülü



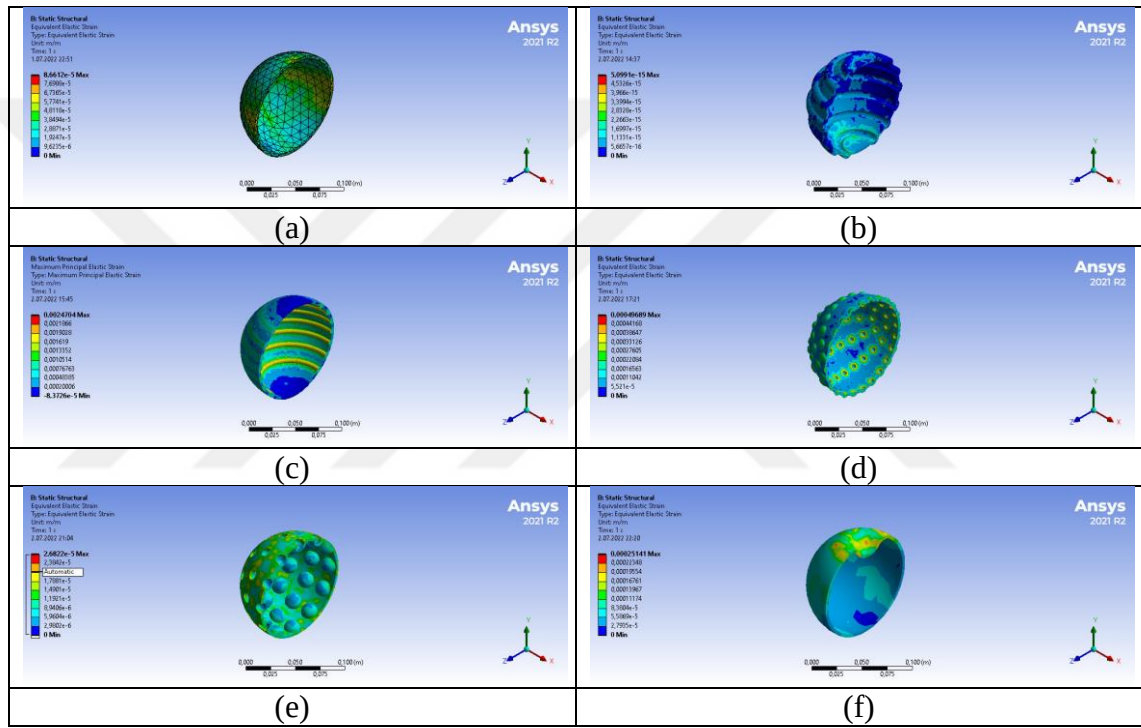
Şekil 3.100. 3 mm kapsülün deformasyon bütünsel olarak karşılaştırılması a) 3mm A kapsülü b) 3mm B kapsülü c) 3mm C kapsülü d) 3mm D kapsülü e) 3mm E kapsülü f) 3mm F kapsülü

Şekil 3.98., Şekil 3.99., Şekil 3.100.'ü incelediğimizde; A kapsülünde $8,1099 \cdot 10^{-3}$ m, B kapsülünde $3,0774 \cdot 10^{-3}$ m, C kapsülünde $1,4267 \cdot 10^{-3}$ m, D kapsülünde $4,7694 \cdot 10^{-4}$ m, E

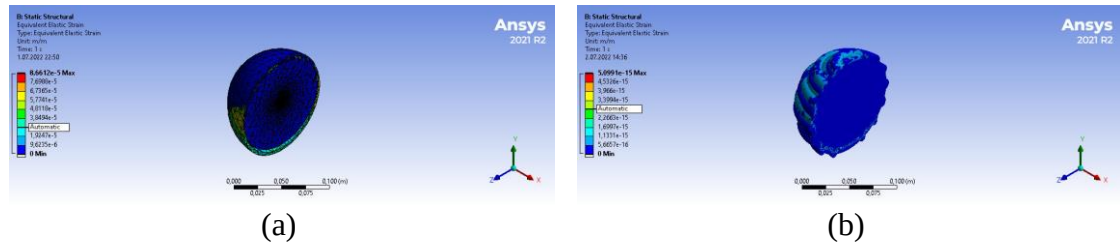
kapsülünde $4,9278 \cdot 10^{-4}$ m, F kapsülünde $5,583 \cdot 10^{-4}$ m mesafesinde deformasyona uğramıştır.

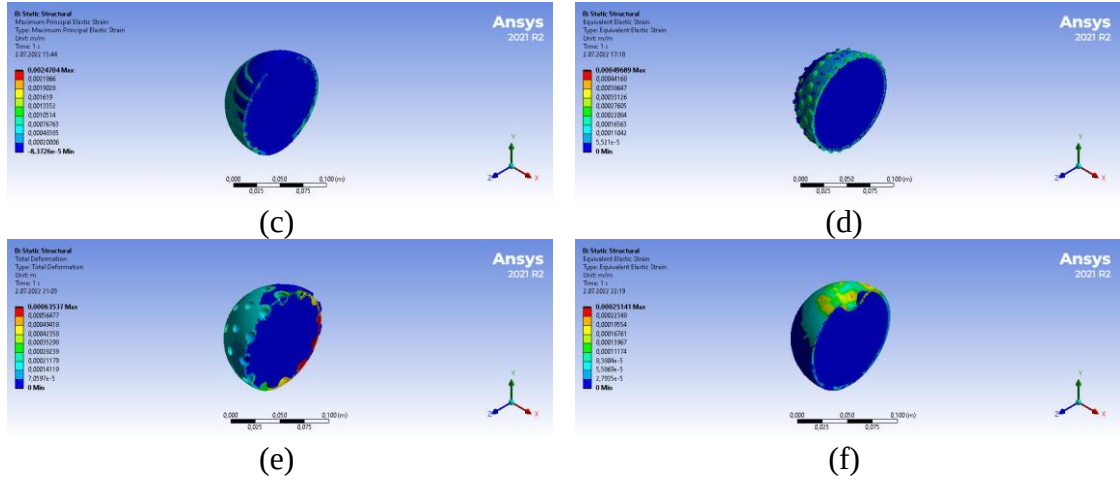
3.1.13. 3,5 mm Kapsüllerin Gerilim ve Deformasyon Analiz Karşılaştırmaları

Bu bölümde 3,5mm kapsüllerinin farklı tip kapsüllerde Ansys programında yapılan çalışmalar sonucunda alınan eşdeğer elastik gerinim, deformasyon incelemelerinin kabuk, kesit, bütünsel olarak incelenmiştir.

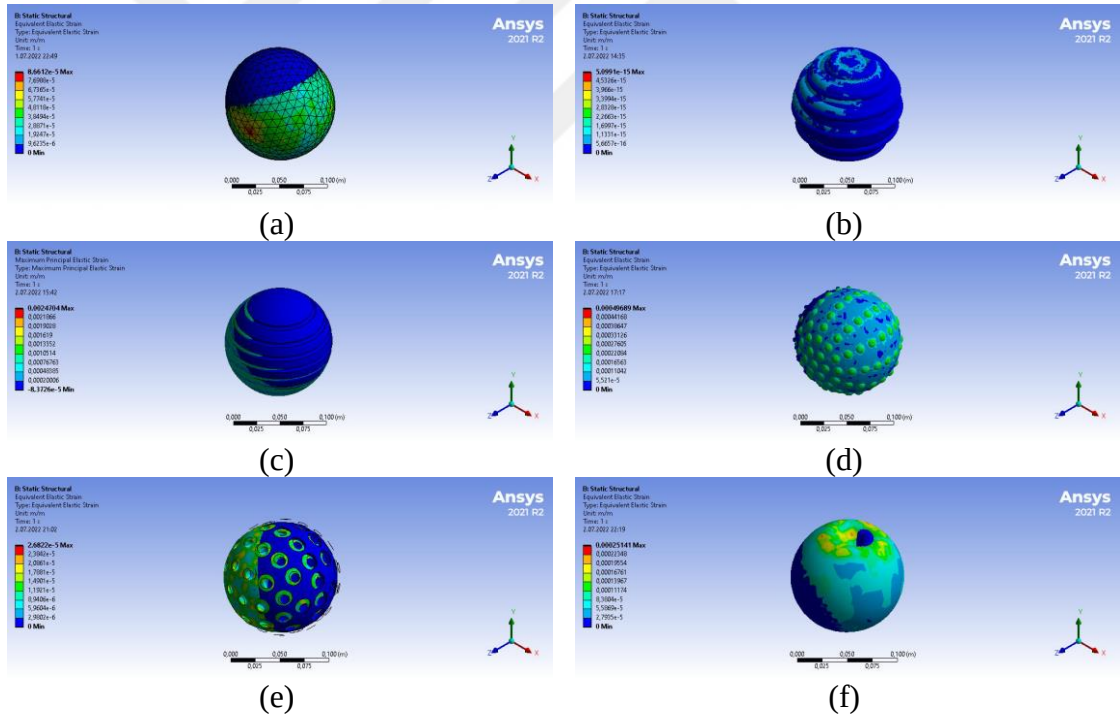


Şekil 3.101. 3,5 mm kapsülün eşdeğer elastik gerinim kabuk olarak karşılaştırılması a) 3,5mm A kapsülü b) 3,5mm B kapsülü c) 3,5mm C kapsülü d) 3,5mm D kapsülü e) 3,5mm E kapsülü f) 3,5mm F kapsülü





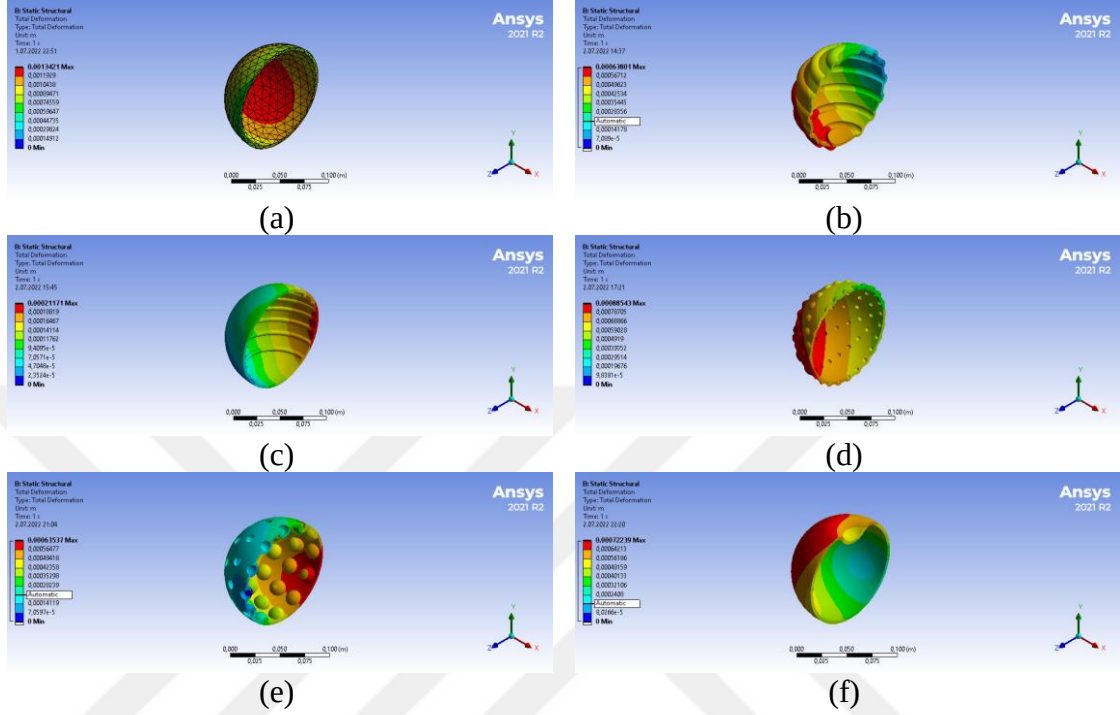
Şekil 3.102. 3,5 mm kapsülün eşdeğer elastik gerinim kesit olarak karşılaştırılması a) 3,5mm A kapsülü b) 3,5mm B kapsülü c) 3,5mm C kapsülü d) 3,5mm D kapsülü e) 3,5mm E kapsülü f) 3,5mm F kapsülü



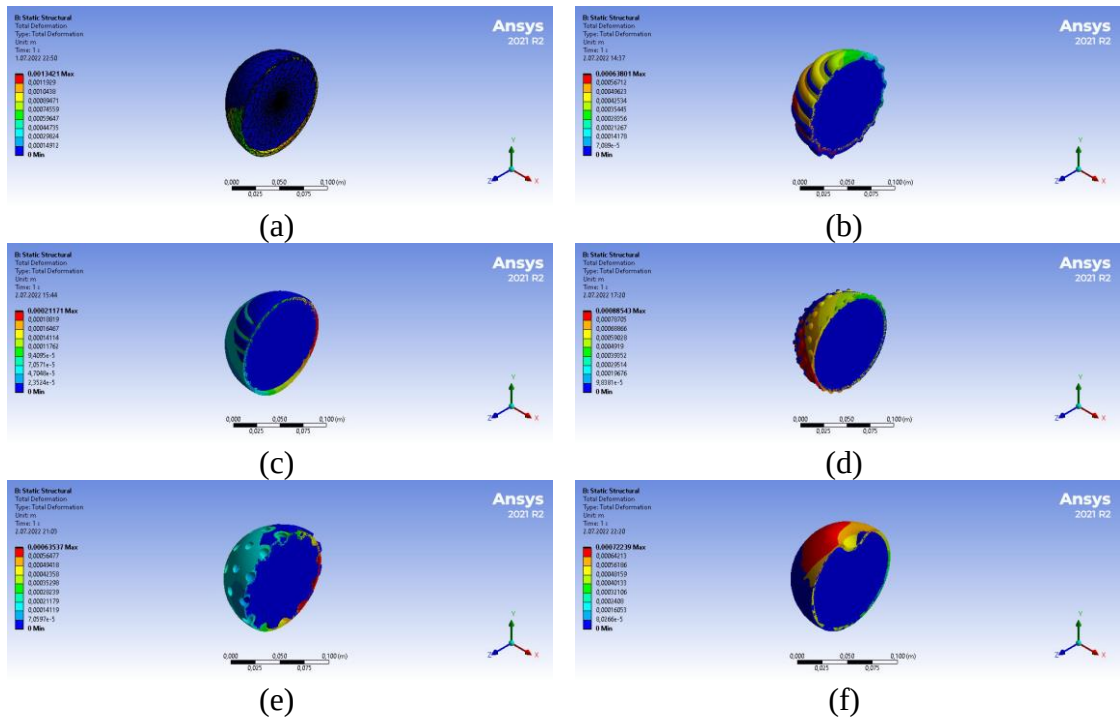
Şekil 3.103. 3,5 mm kapsülün eşdeğer elastik gerinim kesit olarak karşılaştırılması a) 3,5mm A kapsülü b) 3,5mm B kapsülü c) 3,5mm C kapsülü d) 3,5mm D kapsülü e) 3,5mm E kapsülü f) 3,5mm F kapsülü

Şekil 3.101., Şekil 3.102., Şekil 3.103.'ü incelediğimizde; A kapsülünde $8,6612 \cdot 10^{-5}$ (m/m), B kapsülünde $5,0991 \cdot 10^{-5}$ (m/m), C kapsülünde $2,4704 \cdot 10^{-3}$ (m/m), D kapsülünde

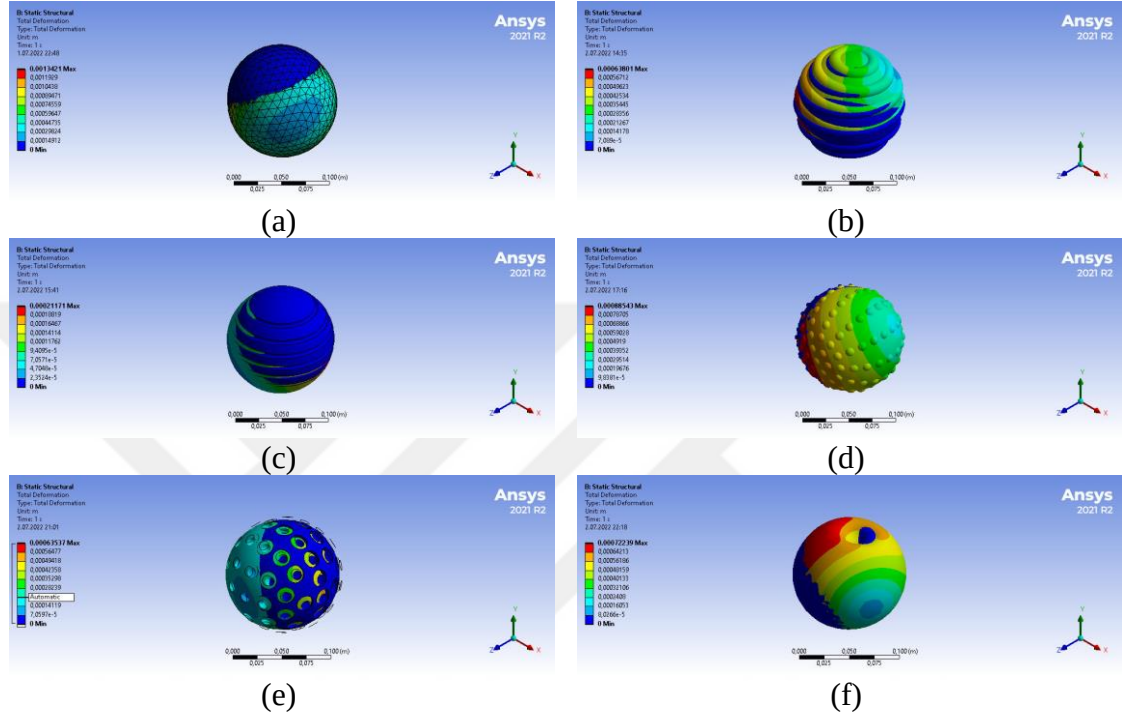
$4,9689.10^{-4}$ (m/m), E kapsülünde $2,6822.10^{-5}$ (m/m), F kapsülünde ise $2,5141.10^{-4}$ (m/m) oranda şekil değiştirip tekrar eski haine gelme yeteneğine sahiptir.



Şekil 3.104. 3,5 mm kapsülün deformasyon kabuk olarak karşılaştırılması a) 3,5mm A kapsülü b) 3,5mm B kapsülü c) 3,5mm C kapsülü d) 3,5mm D kapsülü e) 3,5mm E kapsülü f) 3,5mm F kapsülü



Şekil 3.105. 3,5 mm kapsülün deformasyon kesit olarak karşılaştırılması a) 3,5mm A kapsülü b) 3,5mm B kapsülü c) 3,5mm C kapsülü d) 3,5mm D kapsülü e) 3,5mm E kapsülü f) 3,5mm F kapsülü

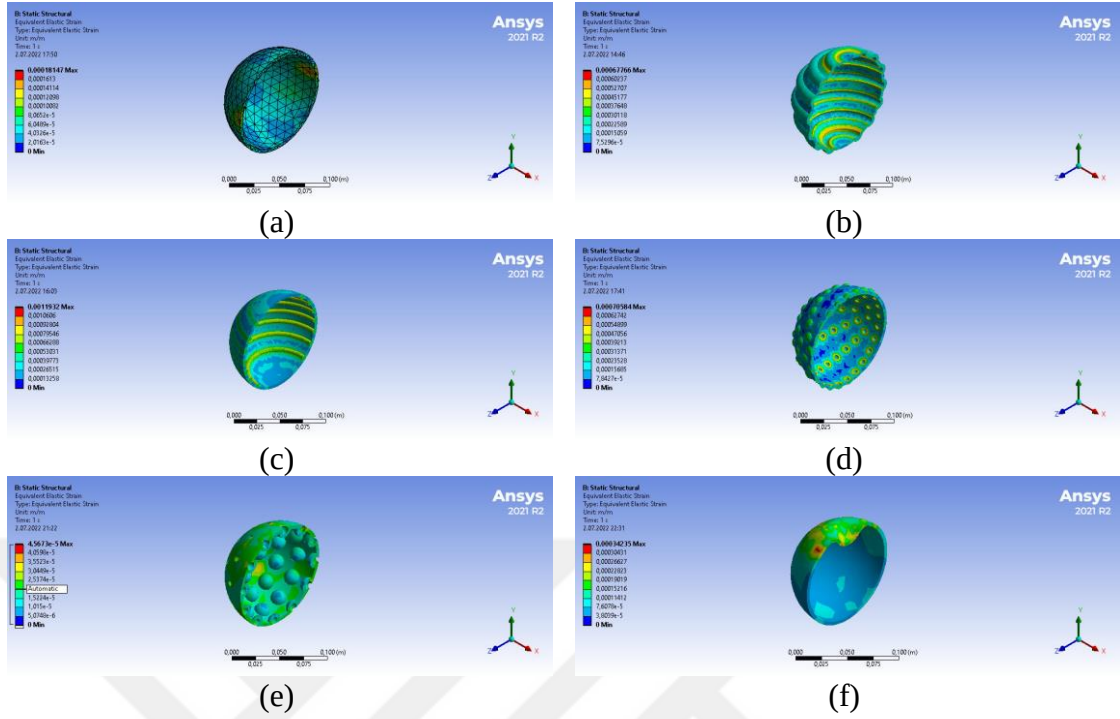


Şekil 3.106. 3,5 mm kapsülün deformasyon bütünsel olarak karşılaştırılması a) 3,5mm A kapsülü b) 3,5mm B kapsülü c) 3,5mm C kapsülü d) 3,5mm D kapsülü e) 3,5mm E kapsülü f) 3,5mm F kapsülü

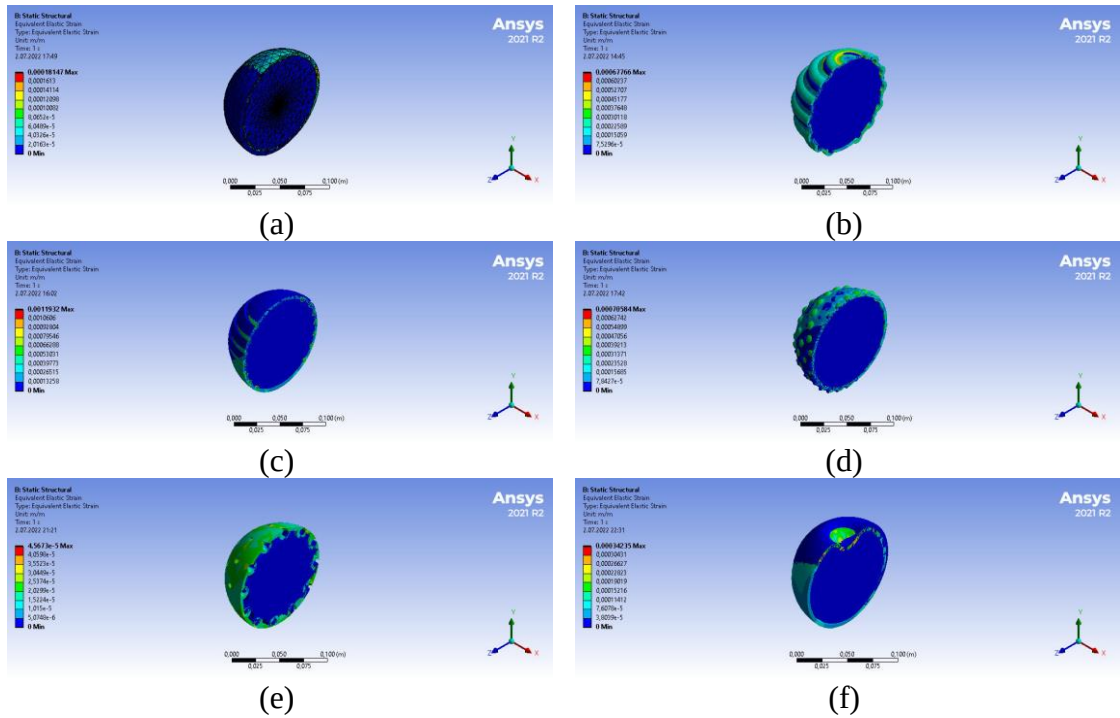
Şekil 3.101., Şekil 3.102., Şekil 3.103.'ü incelediğimizde; A kapsülünde $1,3421 \cdot 10^{-4}$ m, B kapsülünde $6,3801 \cdot 10^{-4}$ m, C kapsülünde $2,1171 \cdot 10^{-4}$ m, D kapsülünde $8,8543 \cdot 10^{-4}$ m, E kapsülünde $6,3537 \cdot 10^{-4}$ m, F kapsülünde $7,2239 \cdot 10^{-4}$ m mesafesinde deformasyona uğramıştır.

3.1.14. 4mm Kapsüllerin Gerilim ve Deformasyon Analiz Karşılaştırmaları

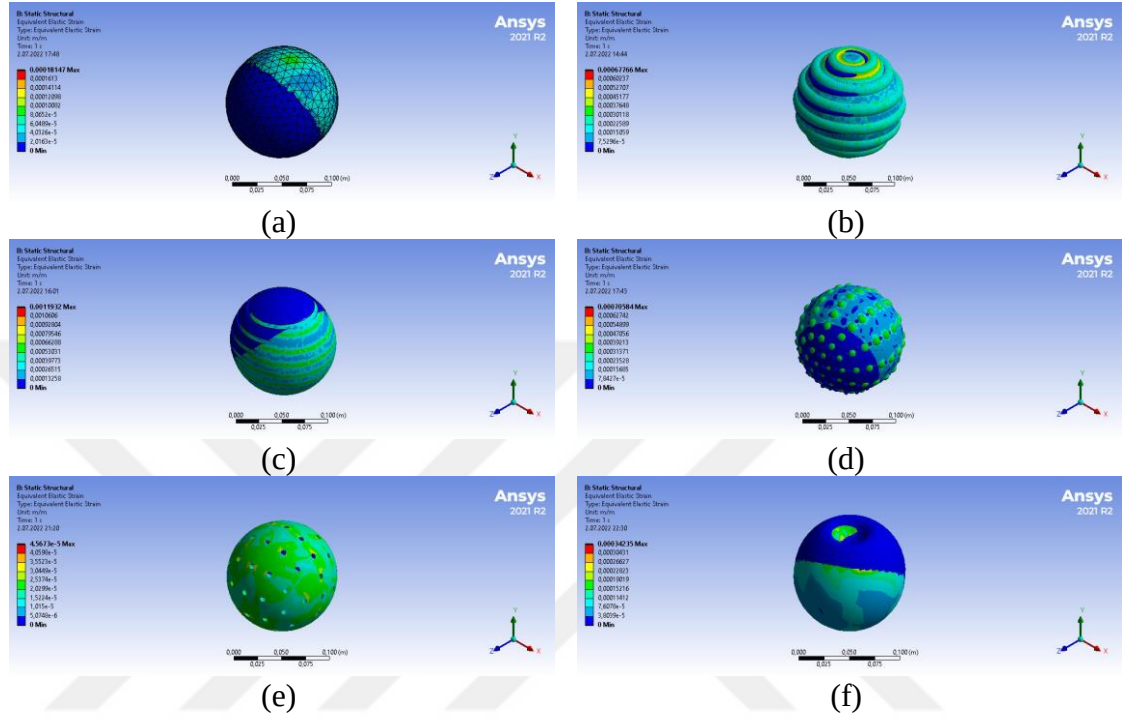
Bu bölümde 4mm kapsüllerinin farklı tip kapsüllerde Ansys programında yapılan çalışmalar sonucunda alınan eşdeğer elastik gerilim, deformasyon incelemelerinin kabuk, kesit, bütünsel olarak incelenmiştir.



Şekil 3.107. 4mm kapsülün eşdeğer elastik gerinim kabuk olarak karşılaştırılması a) 4mm A kapsülü b) 4mm B kapsülü c) 4mm C kapsülü d) 4mm D kapsülü e) 4mm E kapsülü f) 4mm F kapsülü

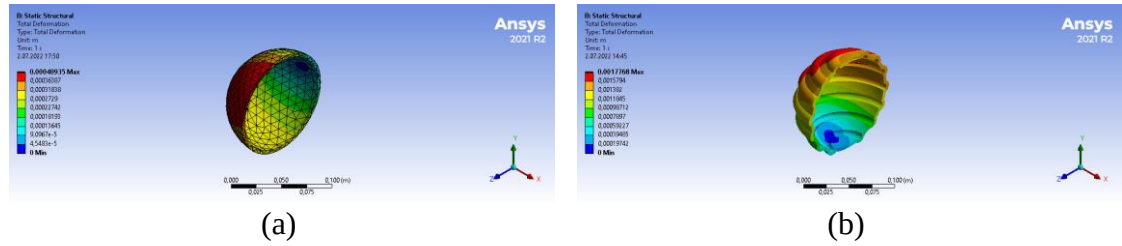


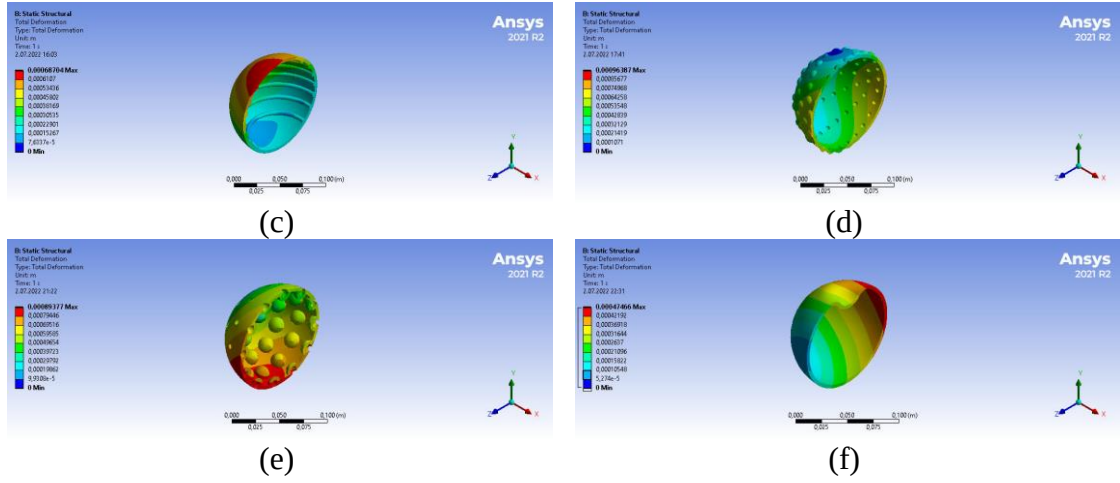
Şekil 3.108. 4mm kapsülün eşdeğer elastik gerinim kesit olarak karşılaştırılması a) 4mm A kapsülü b) 4mm B kapsülü c) 4mm C kapsülü d) 4mm D kapsülü e) 4mm E kapsülü f) 4mm F kapsülü



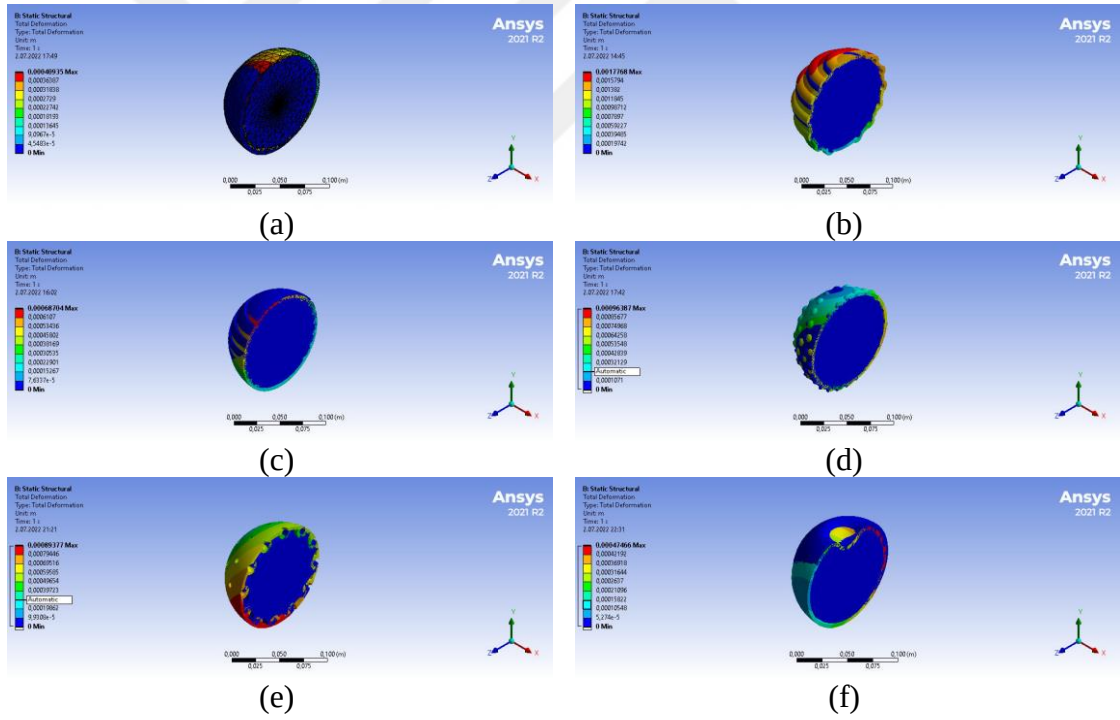
Şekil 3.109. 4mm kapsülün eşdeğer elastik gerinim bütünsel olarak karşılaştırılması a) 4mm A kapsülü b) 4mm B kapsülü c) 4mm C kapsülü d) 4mm D kapsülü e) 4mm E kapsülü f) 4mm F kapsülü

Şekil 3.107., Şekil 3.108., Şekil 3.109.'ü incelediğimizde; A kapsülünde $1,8147 \cdot 10^{-4}$ (m/m), B kapsülünde $6,7766 \cdot 10^{-4}$ (m/m), C kapsülünde $1,1932 \cdot 10^{-3}$ (m/m), D kapsülünde $7,0584 \cdot 10^{-3}$ (m/m), E kapsülünde $4,5673 \cdot 10^{-5}$ (m/m), F kapsülünde ise $3,4235 \cdot 10^{-4}$ (m/m) oranda şekil değiştirip tekrar eski haine gelme yeteneğine sahiptir.

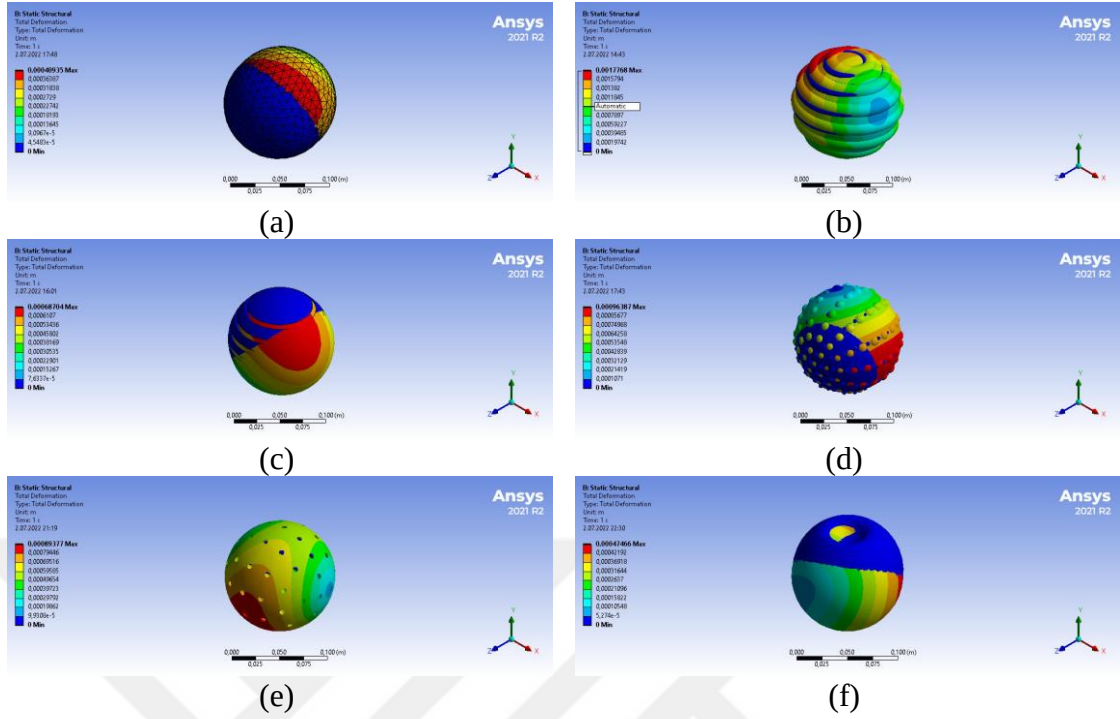




Şekil 3.110. 3mm kapsülün deformasyon kabuk olarak karşılaştırılması a) 4mm A kapsülü b) 4mm B kapsülü c) 4mm C kapsülü d) 4mm D kapsülü e) 4mm E kapsülü f) 4mm F kapsülü



Şekil 3.111. 3mm kapsülün deformasyon kesit olarak karşılaştırılması a) 4mm A kapsülü b) 4mm B kapsülü c) 4mm C kapsülü d) 4mm D kapsülü e) 4mm E kapsülü f) 4mm F kapsülü



Şekil 3.112. 3mm kapsülün deformasyon kesit olarak karşılaştırılması a) 4mm A kapsülü b) 4mm B kapsülü c) 4mm C kapsülü d) 4mm D kapsülü e) 4mm E kapsülü f) 4mm F kapsülü

Şekil 3.110., Şekil 3.111., Şekil 3.112.'ü incelediğimizde; A kapsülünde $4,0935 \cdot 10^{-3}$ m, B kapsülünde $1,7768 \cdot 10^{-3}$ m, C kapsülünde $6,8704 \cdot 10^{-4}$ m, D kapsülünde $9,6387 \cdot 10^{-4}$ m, kapsülünde $8,9377 \cdot 10^{-4}$ m, F kapsülünde $4,7466 \cdot 10^{-4}$ m mesafesinde deformasyona uğramıştır.

4. BÖLÜM

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

4.1. Had Sonuçları

4.1.1. Erime Kesiti Karşılaştırmaları

Erime kesitlerini karşılaştırmalarını incelediğimiz zaman genellikle kalınlık ile artan trendde olduğu gözlenmiştir. E kapsülü bunun istisnası olmuştur. C ve D kapsülü bütün kalınlık karşılaştırmalarında en ideal olmuştur. Erime hızı baz alındığında en E kullanılması daha uygun olacağı tavsiye edilmiştir.

Tablo 4.1. Kapsüllerde meydana gelen erime derinliği

ERİME	A	B	C	D	E	F
0,5	1	0,1	0,5	0,2	0,5	0,5
1	1,7	0,4	2,1	1,3	1	1,1
1,5	2,5	1,5	4,1	3,4	2	1,7
2	3,5	2,8	5,4	5,2	2	2,1
2,5	4,8	3,3	6,7	6,5	2,5	2,9
3	5,3	3,7	7,9	7,7	3,3	3,5
3,5	5,7	4,3	9,1	8,9	4,3	4,4
4	6	5	10	10	3	5

4.1.2. Sıcaklık Dağılımı Karşılaştırmaları

Sıcaklık dağılımlarını karşılaştırdığımız zaman erime kesiti karşılaştırması paralelinde sonuç vermiştir. D kapsülü bunun istisnası olmuştur. A, E ve C kapsülü bütün kalınlık karşılaştırmalarında en ideal olmuştur. Erime hızı baz alındığında en E kullanılması daha uygun olacağı tavsiye edilmiştir.

Tablo 4.2. Kapsüllerde meydana gelen sıcaklık dağılımı derinliği

SICAKLIK	A	B	C	D	E	F
0,5	5	0,1	0,5	2	0,5	0,5
1	7,8	0,5	2,1	2,3	2,3	5
1,5	8,7	1,7	4,1	2,5	3,7	5,1
2	9,3	3	5,4	2,9	5,1	5,3
2,5	10,1	3,5	6,7	4,5	6,9	5,6
3	10,9	4	7,9	6	8,1	5,7
3,5	11,3	4,5	9,1	5	9,2	5,9
4	12	5	10	5	10	6,3

4.1.3. Gerilme ve Deformasyon Sonuçları

Yapılan analizlere göre aşağıdaki tablolar elde edilmiştir.

Tablo 4.3. Kapsüllerde meydana gelen eşdeğer elastik gerinim

	A	B	C	D	E	F
0,5mm	$3,2752.10^{-4}$ m	$9,6485.10^{-4}$ m	$2,6289.10^{-3}$ m	$5,3353.10^{-2}$ m	$3,1058.10^{-2}$ m	$3,7506.10^{-4}$ m
1mm	$1,2756.10^{-4}$ m	$1,0208.10^{-3}$ m	$9,5892.10^{-4}$ m	$5,4438.10^{-4}$ m	$7,4043.10^{-3}$ m	$8,1082.10^{-4}$ m
1,5mm	$5,224.10^{-4}$ m	$1,15.10^{-3}$ m	$2,8673.10^{-4}$ m	$2,3798.10^{-2}$ m	$2,0396.10^{-2}$ m	$1,7369.10^{-4}$ m
2mm	$4,0935.10^{-4}$ m	$2,0414.10^{-3}$ m	$4,3137.10^{-4}$ m	$3,2906.10^{-4}$ m	$7,4043.10^{-3}$ m	$7,5635.10^{-4}$ m
2,5mm	$4,0935.10^{-4}$ m	$8,4778.10^{-4}$ m	$4,5432.10^{-4}$ m	$5,5968.10^{-4}$ m	$1,107.10^{-2}$ m	$8,9214.10^{-2}$ m
3mm	$8,1099.10^{-3}$ m	$3,0774.10^{-3}$ m	$1,4267.10^{-3}$ m	$4,7694.10^{-4}$ m	$4,9278.10^{-4}$ m	$5,583.10^{-4}$ m
3,5mm	$1,3421.10^{-4}$ m	$6,3801.10^{-4}$ m	$2,1171.10^{-4}$ m	$8,8543.10^{-4}$ m	$6,3537.10^{-4}$ m	$7,2239.10^{-4}$ m
4mm	$4,0935.10^{-3}$ m	$1,7768.10^{-3}$ m	$6,8704.10^{-4}$ m	$9,6387.10^{-4}$ m	$8,9377.10^{-4}$ m	$4,7466.10^{-4}$ m

Tablo 4.4. Kapsüllerde meydana gelen deformasyon

	A	B	C	D	E	F
0,5	$1,855.10^{-5}$ (m/m)	$2,9863.10^{-10}$ (m/m)	$5,9559.10^{-11}$ (m/m)	$3,4398.10^{-5}$ (m/m)	$2,2006.10^{-5}$ (m/m)	$4,3983.10^{-8}$ (m/m)
1	$2,8662.10^{-8}$ (m/m)	$2,8784.10^{-8}$ (m/m)	$6,7668.10^{-8}$ (m/m)	$2,1096.10^{-6}$ (m/m)	$2,1504.10^{-5}$ (m/m)	$8,4024.10^{-7}$ (m/m)
1,5	$2,1672.10^{-6}$ (m/m)	$2,4215.10^{-6}$ (m/m)	$5,03.10^{-6}$ (m/m)	$3,5781.10^{-6}$ (m/m)	$2,0763.10^{-5}$ (m/m)	$1,1174.10^{-5}$ (m/m)
2	$3,0896.10^{-5}$ (m/m)	$1,33.10^{-4}$ (m/m)	$2,5439.10^{-9}$ (m/m)	$3,8907.10^{-5}$ (m/m)	$2,1504.10^{-5}$ (m/m)	$1,9298.10^{-5}$ (m/m)
2,5	$8,6398.10^{-5}$ (m/m)	$8,0872.10^{-5}$ (m/m)	$3,9485.10^{-4}$ (m/m)	$1,3124.10^{-4}$ (m/m)	$2,350.10^{-5}$ (m/m)	$4,6726.10^{-5}$ (m/m)
3	$1,613.10^{-4}$ (m/m)	$2,1136.10^{-4}$ (m/m)	$5,4275.10^{-15}$ (m/m)	$2,5578.10^{-4}$ (m/m)	$2,6789.10^{-5}$ (m/m)	$1,1615.10^{-4}$ (m/m)
3,5	$8,6612.10^{-5}$ (m/m)	$5,0991.10^{-5}$ (m/m)	$2,4704.10^{-3}$ (m/m)	$4,9689.10^{-4}$ (m/m)	$2,6822.10^{-5}$ (m/m)	$2,5141.10^{-4}$ (m/m)
4	$1,8147.10^{-4}$ (m/m)	$6,7766.10^{-4}$ (m/m)	$1,1932.10^{-3}$ (m/m)	$7,0584.10^{-3}$ (m/m)	$4,5673.10^{-5}$ (m/m)	$3,4235.10^{-4}$ (m/m)

Tablo 4.5. Aynı kalınlıktaki kapsüllerin eşdeğer elastik gerinim sıralaması

	A	B	C	D	E	F
0,5mm	3	5	6	1	2	4
1mm	6	5	4	2	1	3
1,5mm	4	3	1	2	5	6
2mm	3	1	6	2	4	5
2,5mm	3	4	1	2	6	5
3mm	5	3	6	2	1	4
3,5mm	4	5	1	2	6	3
4mm	5	3	2	1	6	4

0,5mm kapsüllerde D ve E eşdeğer elastik gerinim kabiliyeti fazla olduğu gözlenmiştir. 1mm kapsüllerde yine aynı şekilde E ve D kapsülleri eşdeğer elastik gerinim kabiliyeti en fazla olan kapsüllerdir. 1,5mm kapsüllerde C ve D kapsülleri, 2mm kapsüllerde B ve D kapsülleri, 2,5mm kapsüllerde C ve D kapsülleri, 3mm kapsüllerde E ve D kapsülleri, 3,5mm kapsüllerde C ve D kapsülleri, 4mm kapsüllerde D ve C kapsülleri eşdeğer elastik gerinim kabiliyeti fazladır.

Tablo 4.6. Aynı kapsüllerin farklı kalınlıktaki eşdeğer elastik gerinim sıralaması

	A	B	C	D	E	F
0,5	7	8	7	6	7	8
1	8	7	5	8	6	7
1,5	6	6	4	7	8	6
2	5	3	6	5	5	5
2,5	4	4	3	4	4	4
3	2	2	8	3	3	3
3,5	3	5	1	2	2	2
4	1	1	2	1	1	1

Aynı kapsüllerin farklı kalınlıklarındaki eşdeğer elastik gerinim kabiliyetlerini incelediğimizde C kapsülü hariç kalınlık arttıkça artmıştır.

Tablo 4.7. Aynı kalınlıktaki kapsüllerin deformasyon sıralaması

	A	B	C	D	E	F
0,5	6	4	3	1	2	5
1	6	2	3	5	1	4
1,5	4	3	5	1	2	6
2	5	1	4	6	3	2
2,5	6	3	4	5	2	1
3	1	2	3	6	5	4
3,5	6	3	5	1	4	2
4	1	2	5	3	4	6

0,5mm kapsüllerde D ve E deformasyon kabiliyeti fazla olduğu gözlenmiştir. 1mm kapsüllerde yine aynı şekilde E ve B kapsülleri, 1,5mm kapsüllerde D ve E kapsülleri, 2mm kapsüllerde B ve F kapsülleri, 2,5mm kapsüllerde F ve E kapsülleri, 3mm kapsüllerde A ve B kapsülleri, 3,5mm kapsüllerde ise D ve F, 4mm kapsüllerde ise A ve B kapsülleri deformasyon kabiliyeti fazladır.

Tablo 4.8. Aynı kapsüllerin farklı kalınlıktaki deformasyon sıralaması

	A	B	C	D	E	F
0,5	6	6	1	1	1	7
1	8	5	3	6	5	2
1,5	3	4	7	2	2	8
2	5	2	6	8	4	3
2,5	4	7	5	5	3	1
3	1	1	2	7	8	6
3,5	7	8	8	4	7	4
4	2	3	4	3	6	5

Aynı kapsüllerin farklı kalınlıklarındaki deformasyonlar düzenli bir trendde olmadığı gözlenmiştir. A kapsülünde 3mm ve 4mm, B kapsülünde 3mm ve 2mm, C kapsülünde 0,5mm ve 3mm, D kapsülünde 0,5mm ve 1,5mm, E kapsülünde 0,5mm ve 1,5mm kapsülünde, F kapsülünde 2,5mm ve 1mm daha fazla deformasyon kabiliyeti olduğu sonucu çıkmıştır.

4.2. Maliyet Analizi

Bu bölümde maliyet analizi ve ağırlıklar değerlendirilmiştir.

Tablo 4.9. Kapsüllerin cidar ağırlıkları

	A	B	C	D	E	F
0,5	18,3	20,2	22	19,6	25,7	20,7
1	36,9	40,6	45,3	39,6	52	41,1
1,5	55,8	61	77,4	58,8	78,7	61,1
2	75	81,2	98,1	80	105,9	80,8
2,5	94,7	102,8	118,6	101	133,6	100,1
3	114,6	124	139,5	123,6	161,7	119,1
3,5	134,9	145,6	160,8	143,6	190,4	137,8
4	155,5	167,4	182,4	157	219,6	156,1

Tablo 4.10. Kapsüllerin 1 milyon adedinin ham madde fiyat listesi

	A	B	C	D	E	F
0,5	23.790\$	26.260\$	28.600\$	25.480\$	33.410\$	26.910\$
1	47.970 \$	52.780\$	58.890\$	51.480\$	67.600\$	53.430\$
1,5	72.540\$	79.300\$	100.620\$	76.440\$	102.310\$	79.430\$
2	97.500\$	105.560\$	127.530\$	104.000\$	137.670\$	105.040\$
2,5	123.110\$	133.640\$	154.180\$	131.300\$	173.680\$	130.130\$
3	148.900\$	161.200\$	181.350\$	160.680\$	210.210\$	154.830\$
3,5	175.370\$	189.200\$	209.040\$	186.680\$	247.520\$	179.140\$
4	202.150\$	217.620\$	237.120\$	204.100\$	285.480\$	202.930\$

(Fiyatlar <https://www.b2bpolymers.com/fiyatlar.html> sitesinde 1300\$/ton olarak alınmıştır.)

Tablodan çıkan sonuca göre kalınlıklar arttıkça maliyet arttığı tespit edilmiştir. Kalınlıkları aynı olan kapsüller karşılaştırınca ise en düşük maliyet A kapsülü en yüksek maliyet ise E kapsülü olarak ortaya çıkmıştır. Diğer etkenler de göz önüne alınarak değerlendirmeler yapılmıştır. Eğer kapsüllerin erime hızları E kapsülü kullanmak daha avantajlı olacağı değerlendirilmiştir. Sıcaklık dağılımı yine aynı şekilde E kapsülünde daha dengeli olduğu gözlenmiştir. Eşdeğer elastik gerinim kabiliyetleri ise C, E ve D kapsülleri en uygun kapsüllerdir. Sonuç olarak baktığımızda D ve E 2mm kalınlığındaki kapsüllerinin sonrasında C, E ve D kapsüllerinin 0,5mm kalınlığındaki kapsüllerinin en ideal seçim olacağı ortaya çıkmıştır.

4.3. Öneriler

Bu tez çalışması farklı şekillerdeki buz kapsüllerin farklı kalınlıklarındaki erime kesiti, sıcaklık dağılımı, eşdeğer elastik gerinim ve deformasyonu incelenmiştir. Araştırma faaliyetleri Ansys programı ile -5 °C'den 30 °C'ye sıcaklık artırılmıştır ve bunun sonucunda istenen sonuçlar araştırılmıştır. Tez çalışmasında yürütülen faaliyetler aşağıda sıralanmıştır. Bu sıcaklık değerlerinin seçilme sebebi üretimden kullanımına kadar olan safhadaki ve oluşabilecek arıza durumlarında kapsüllerin oda sıcaklığına gelmesi göz önünde bulundurularak seçilmiştir.

1. Buzda soğukluk depolama sistemleri artan enerji maliyetleri göz önünde alındığında market, soğuk hava deposu gibi soğutma sistemlerinde tercih edilmelidir.
2. Maliyetler göz önünde bulundurularak kalınlığı daha küçük kapsüller seçilmesine dikkat edilmelidir.
3. Çalışma şartları göz önünde bulundurularak soğutma sistemi güvenliği önemine göre 2mm kalınlığındaki D ve E kapsülleri seçilmelidir. Kapsüllerin patlayarak sisteme dağılması önem teşkil etmeyecekse 0,5mm kalınlıktaki C, E ve D kapsülleri tercih edilmelidir.
4. Kapsüllerin çaplarını idealize edecek yeni çalışmalar yapılmalıdır.

KAYNAKÇA

1. Erdemir, D., 2017. Buzlu Enerji Depolama Sistemlerinin Termal ve Ekonomik Analizleri. Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Kayseri, 153 s.
2. Tomorrow's Energy Today for Cities and Counties Haziran 1995.Keep It with Thermal Energy Storage. U.S. Department of Energy, s.1-4
3. Sturm, M., Perovich, K., Holmgren, J., 2002. Thermal conductivity and heat transfer through the snow on the ice of the beaufort sea. **Journal of Geophysical Research: Oceans**, **107**(C21):8043 – 8059.
4. Benmansour, A., Hamdan, M.A., Bengueuddach, A., 2004. Experimental and numerical investigation of solid particles thermal energy storage unit. **Journal of Thermal Analysis and Calorimetry**, **26**(5-6):513– 518.
5. Hammou, Z., Lacroix, M., 2005. A hybrid thermal energy storage system for managing simultaneously solar and electric energy. **International Journal of Thermal Sciences**, **47**(3):273– 288.
6. Regin, A.F., Solanki, S., and Saini, J., 2009. An analysis of a packed bed latent heat thermal energy storage system using {PCM} capsules: Numerical investigation, **Renewable Energy**, **34**(7):1765 – 1773.
7. Soderlunda, K. M., Heimpelb, M. H., King, E. M., 2012. Turbulent models of ice giant internal dynamics: Dynamos, heat transfer, and zonal flows, **Icarus**, **224**(1):97 – 113.
8. Reddy, R., Nallusamy, N., Reddy, K., 2012. Experimental Studies on Phase Change Material-Based Thermal Energy Storage System for Solar Water Heating Applications, **Ashdin Publishing Journal of Fundamentals of Renewable Energy and Applications**, **2**(2012): Article ID R120314, 6 pages.
9. Bellan, S., Alam, T., Aguilar, J. G., Romero, M., 2015. Numerical and experimental studies on heat transfer characteristics of thermal energy storage system packed with molten salt PCM capsules, **Renewable and Sustainable Energy**, **2**(3):1– 6.
10. Erek, A. and Dincer, I., 2009. Numerical heat transfer analysis of encapsulated ice thermal energy storage system with variable heat transfer coefficient in downstream, **International Journal of Heat and Mass Transfer**, **52**(3–4):851 – 859.

11. PBédécarrats, J., Strub, F., Falcon, B., Dumas, J. P., 1994. Phase-change thermal energy storage using spherical capsules: performance of a test plant Accumulation d'énergie thermique par changement de phase en utilisant des capsules spheriques: performance de l'installation expérimentale, **International Journal of Refrigeration**, **19**(3):187 – 196.
12. Ismail, K. and Henriquez, J., 2002. Numerical and experimental study of spherical capsules packed bed latent heat storage system, **Applied Thermal Engineering**, **22**(15):1705 – 1716.
13. Saitoh, T., Hirose, K., 1985. High-performance phase-change thermal energy storage using spherical capsules, **Chemical Engineering Communications**, **42**(1-6):39 – 58.
14. Fang, G., Wu, S., Liu, X., 2009. Experimental study on cool storage air-conditioning system with spherical capsules packed bed, **Energy and Buildings**, **41**(7):1056-1062.
15. ElGhnam, I., Abdelaziz, R. A., SakrHany, H., Abdelrhman, H.E., 2012. An experimental study of freezing and melting of water inside spherical capsules used in thermal energy storage systems, **Ain Shams Engineering Journal**, **3**(1):33-48.
16. Peng, H., Dong, H., Ling, X., 2013. Thermal investigation of PCM-based high temperature, **Energy Conversion and Management**, **81**:420-427.
17. Aldoss, T., Rahman, M. M., 2013. Comparison between the single-PCM and multi-PCM thermal energy storage design, **Energy Conversion and Management**, **83**:79-87.
18. Yang, L., Zhang, X., Xu, G., 2013. Thermal performance of a solar storage packed bed using spherical capsules filled with PCM having different melting points, **Energy and Buildings**, **68**(Part B):639-646.
19. Sari, A., Alkan, C., Bilgin, C., 2014. Micro/nano encapsulation of some paraffin eutectic mixtures with poly (methyl methacrylate) shell: Preparation, characterization and latent heat thermal energy storage properties, **Applied Energy**, **136**:217-227.
20. Asgharian, H., Baniasadi, E., 2018. Experimental and numerical analyses of a cooling energy storage system using spherical capsules, **Applied Thermal Engineering**, **149**:909-923.

21. Saad, Martin, H., 2005. Elasticity Theory (applications, and numerics), Academic Press, Massachusetts, 330/461
22. Al-Bayati, Ali, J. M., 2020. A CFD based analysis of thermal performance for spherical capsules used in ice storage system, **Journal of Energy Storage**, **31**:101638.



ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı: Ali GÜLTEKİN
Uyruğu: Türkiye (T.C)

EĞİTİM

Derece	Kurum	Mezuniyet Tarihi
Yüksek Lisans	Erciyes Üniversitesi, Makine Mühendisliği	2022
Lisans	Erciyes Üniversitesi, Makine Mühendisliği	2014
Lise	Kocasinan Lisesi, Fen Bilimleri	2004

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görev
2021-Halen	Simfer – Ar-Ge Uzm. Yrd.	2 Yıl 3 Ay
2021-2021	Karva Plastik – Makine Mühendisi	2 Ay

YABANCI DİL

İngilizce